

WAVELENGTH STABILIZED LASER SOURCES USING FEEDBACK FROM VOLUME HOLOGRAMS

Publication number: JP9502838 (T)

Publication date: 1997-03-18

Inventor(s):

Applicant(s):

Classification:

- international: G02B5/18; G02B5/32; H01S3/13; H01S3/131; H01S3/137; H01S5/00; H01S5/068; H01S5/0687; H01S5/14; G02B5/18; G02B5/32; H01S3/13; H01S3/131; H01S5/00; (IPC1-7): G02B5/18; G02B5/32; H01S3/131; H01S3/133; H01S3/137; H01S3/18

- European: H01S3/13; H01S5/0687; H01S5/14B

Application number: JP19940509267T 19940909

Priority number(s): WO1994US10176 19940909; US19930122711 19930914

Also published as:

WO9508206 (A1)

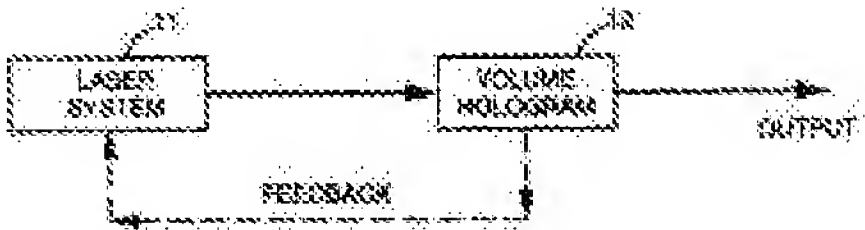
EP0719467 (A1)

CA2171742 (A1)

Abstract not available for JP 9502838 (T)

Abstract of corresponding document: **WO 9508206 (A1)**

A laser (11) utilizes feedback from a volume holographic (12) grating used as a wavelength standard to lock the laser output wavelength to its desired value. This feedback can be non-optical, wherein the holographic filter output is used to actively control the wavelength through an external control mechanism. This feedback can also be optical, wherein a volume hologram reflection grating is used to generate optical feedback into the laser gain.



.....

Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

| | | | |
|-----------------------------------|--|---------|---------------|
| (51)Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I |
| H 0 1 S 3/131 | | 7630-2K | H 0 1 S 3/131 |
| G 0 2 B 5/18 | | 9514-2H | G 0 2 B 5/18 |
| | 5/32 | 9514-2H | 5/32 |
| H 0 1 S 3/133 | | 7630-2K | H 0 1 S 3/133 |
| | 3/137 | 7630-2K | 3/137 |
| 審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 67 頁) 最終頁に続く | | | |
| (21)出願番号 | 特願平7-509267 | | |
| (86)(22)出願日 | 平成6年(1994)9月9日 | | |
| (85)翻訳文提出日 | 平成8年(1996)3月14日 | | |
| (86)国際出願番号 | P C T / U S 9 4 / 1 0 1 7 6 | | |
| (87)国際公開番号 | W O 9 5 / 0 8 2 0 6 | | |
| (87)国際公開日 | 平成7年(1995)3月23日 | | |
| (31)優先権主張番号 | 1 2 2 , 7 1 1 | | |
| (32)優先日 | 1993年9月14日 | | |
| (33)優先権主張国 | 米国 (U S) | | |
| (81)指定国 | E P (A T , B E , C H , D E , D K , E S , F R , G B , G R , I E , I T , L U , M C , N L , P T , S E) , C A , J P | | |
| (71)出願人 | アキュウエーブ コーポレイション アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90404 サンタ モニカ, 19ス ストリー ト 1651 | | |
| (72)発明者 | ラカルジック, ジョージ, アンソニー アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90405 サンタ モニカ, 29ス ストリー ト 2320 | | |
| (72)発明者 | ヤリフ, アムノン アメリカ合衆国 カリフォルニア州 91108 サン マリノ, ホメット ロード 2257 | | |
| (74)代理人 | 弁理士 大塚 康德 (外1名) 最終頁に続く | | |

(54)【発明の名称】 ボリウムホログラムからのフィードバックを用いた波長安定化レーザソース

(57)【要約】
レーザ（11）は、レーザ出力波長を所望値にロックするために、波長標準として使われるボリウムホログラフィック（12）格子からのフィードバックを用いる。このフィードバックは、非光学的になされる。ここで、ホログラフィックフィルタが、外部制御機構を用いて、波長を能動的に制御するために使われる。このフィードバックはまた、光学的であってもよい。ここでは、ボリウムホログラム反射格子が、光学的フィードバックを生成して、レーザ利得を得るために使われる。

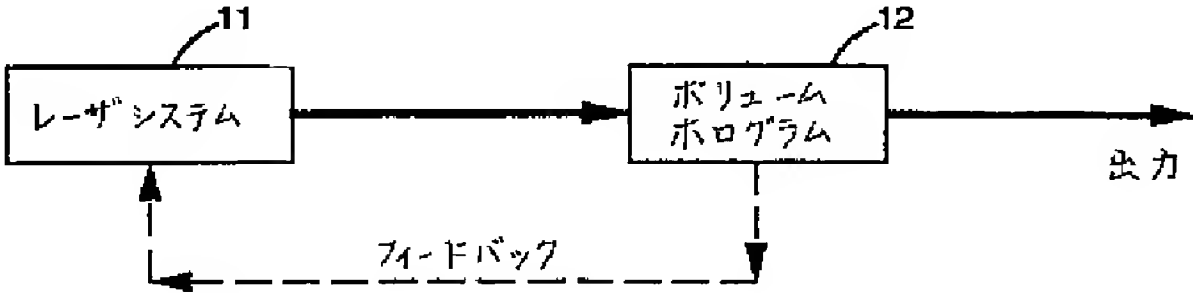


FIG. 1

【特許請求の範囲】

1. 光源の出力波長を安定化する方法であって、

前記出力波長で電磁波エネルギーのビームを発生する発生工程と、

1つまたはそれ以上のフィードバック信号を供給すべく、既知の中心波長の1つまたはそれ以上のホログラムを用いてビームをフィルタリングするフィルタリング工程と、

前記フィードバック信号に従って出力波長を変化させ、前記光源を制御する制御工程と、

を備えることを特徴とする方法。

2. 前記制御工程は、前記フィードバック信号を生成すべく、フィルタリングしたビームを検知器に向ける工程を有することを特徴とする請求項1に記載の方法。

3. 波長を調整可能な出力ビームを発生するレーザと、

前記出力ビームの一部を、選択された波長で前記出力ビームの狭小なスペクトラムを反射するボリューム・ホログラムに向ける手段と、

反射された出力ビームの強度と前記出力ビーム波長の相関関係を算定し、前記レーザを前記反射された出力ビームが達成し得る最大強度まで調整する波長制御手段と、

を備えることを特徴とするフィルタ・ロック型のレーザ。

4. 前記ボリューム・ホログラムは、選択された波長で前記出力ビームを反射し、その他の全波長で前記出力ビームを検知器に透過する格子を含み、前記波長制御手段は、前記検知器が透過された出力ビームに関する最小の光学的パワーを読むまで前記レーザを調整する手段を含むことを特徴とする請求項3に記載のレーザ。

5. レーザの所望の出力波長の僅かに上または下の波長で光ビームを反射する複数のホログラフィック・フィルタと、

反射された複数のビームの相対的な大きさを検知する手段と、

前記反射された複数の光ビームの相対的な大きさの関係を選択された関係に維持すべく、レーザの出力波長を調整する調整手段と、

を備えることを特徴とする交差フィルタ型のレーザ。

6. 前記調整手段は、波長選択ボリューム・ホログラムを用いたレーザに光ビームを選択的に逆反射する手段を含むことを特徴とする請求項5に記載のレーザ。

7. 制御パラメータに応答する波発生器の波長を制御する方法であって、
ある出力波長でコヒーレントな電磁波のビームを発生する工程と、

前記波発生器の波長の領域からの波長変動に伴って変化するフィルタ応答特性に従って、少なくとも1つのフィルタ出力信号を供給すべく、発生した波長で前記ビームの一部をホログラフィック的にフィルタリングするフィルタリング工程と、

前記フィルタ出力信号と予め設定された出力値との差分を決定する工程と、

選択された波長を維持すべく、前記波長発生器の制御パラメータを変更する変更工程と、

を備えることを特徴とする方法。

8. 前記フィルタリング工程は、選定された波長と相対的に相違する応答を有する1つまたはそれ以上のフィルタ出力信号を供給すべく、1つまたはそれ以上の波長選択デバイスに前記ビームを通過させる工程を含むことを特徴とする請求項7に記載の方法。

9. 前記フィルタ出力信号は、前記選定された波長と実質的に等しいレベルを有し、前記フィルタリング工程は、前記ビームの狭小なスペクトル幅を反射する工程を含むことを特徴とする請求項8に記載の方法。

10. 前記フィルタリング工程は、前記選定された波長で互いに異なるレベルを有する複数のフィルタ出力信号を供給するための1つまたはそれ以上の波長選択デバイスを使用する工程と、選択された波長を維持するために制御パラメータを調整する間、前記レベル間の差分をオフセットする工程とを含むことを特徴とする請求項8に記載の方法。

11. 前記フィルタリング工程は、フィルタ応答の中心でフィルタ出力信号のピーク値を生成する工程を含み、前記方法は、前記ピーク値からの前記フィルタ出力信号のずれの方向を決定する工程と、前記フィルタ出力信号が前記ピーク値に

至るまで前記ビームの前記出力波長を調整する工程とをさらに備えることを特徴とする請求項7に記載の方法。

12. コヒーレントな光源の波長を制御する方法であって、

前記コヒーレントな光源からの光を、波長感度応答曲線の如きであるが互いに異なる波長の対の中心に位置する周波数選択応答画像から反射せしめる反射工程であって、周波数選択反射画像の各対の前記波長感度応答曲線は名目的に選択された波長と異なるところで交差する、反射工程と、

選択された対の周波数選択反射画像からの反射光の相対的な振幅を検知する検知工程と、

コヒーレントな光源の波長を、前記選択された対の周波数選択反射画像についての前記波長感度応答曲線の前記相対的な振幅を維持すべく調整する調整工程と、

を備えることを特徴とする方法。

13. 対の前記波長感度応答曲線は、名目的に選択された波長で対向する傾きを有し、前記方法は、反射された光のパワーレベルに従って前記相対的な振幅を正規化する工程をさらに備えることを特徴とする請求項12に記載の方法。

14. 精密に制御されたコヒーレントなビームの波長を生成するシステムであって、

選択された波長の範囲の出力ビームを発生するレーザと、

前記選択された波長の範囲内において、与えられた波長で交差する応答曲線の如きを有する少なくとも2つの回折格子を含むホログラフィック記録デバイスと、

反射光を生成すべく、出力ビームの少なくとも一部を前記回折格子上に向ける手段と、

前記回折格子からの反射光に関する相対的な振幅に応じ、所望の波長を維持すべく前記レーザを制御する手段と、

を備えることを特徴とするシステム。

15. 前記レーザは、分布フィードバック・レーザを含み、前記レーザを制御

する手段は、前記ホログラフィック記録デバイスを変更する手段を含むことを特徴とする請求項14に記載のシステム。

16. 前記レーザを制御する手段は、

前記格子からの前記反射光についての前記相対的な振幅の間から互いに異なる信号を取得する手段と、

前記取得する手段に応じて、全体のパワー出力に従って前記互いに異なる信号の振幅を調整する手段と、

前記調整する手段に応じて、前記互いに異なる信号の前記振幅に従って前記レーザを制御する手段と、

を備えることを特徴とする請求項15に記載のシステム。

17. 予め設定された値の約2 Å以内に動作点を維持すべく、レーザの出力波長を正確に制御するシステムであって、

1つまたはそれ以上の制御パラメータに応じて、前記動作点の領域において出力ビームを生成するレーザと、

前記出力ビームの経路におけるフィルタであって、互いに異なる波長で反射し前記動作点の対向する側片上に中心を有する少なくとも2つのホログラフィック格子を含み、前記動作点と既知の関係を有する与えられた値で対向する傾斜が交差するスペクトル応答特性の如きを有するフィルタと、

前記フィルタから反射される前記出力ビームに応答する少なくとも2つの互いに異なる信号を生成する検知手段と、

前記検知手段からの信号に応じて、差動信号を生成する手段と、

前記互いに異なる信号に応じて、前記レーザの前記出力波長を変更すべく、前記制御パラメータを調整する手段と、

を備えることを特徴とするシステム。

18. 前記レーザは、分布フィードバック半導体レーザを含み、前記制御パラメータに依存することを特徴とする請求項17に記載のシステム。

19. レーザの直前の熱シンク上に搭載された熱電冷却器をさらに備え、前記差動信号を生成する手段は、反射された出力ビームに従って前記差分信号を正規化

する手段を含むことを特徴とする請求項18に記載のシステム。

20. 制御パラメータに従って選択された範囲で調整できる出力ビームを有するレーザと、

前記レーザの出力ビームの一部の基準サンプルを供給する手段と、

前記一部の基準サンプルに従って波長振幅信号を抽出するフィルタ手段であって、少なくとも1つの波長選択格子を含むボリューム・ホログラフィック・フィ

ルタを含むフィルタ手段と、

前記波長振幅信号に応じて、前記レーザの出力ビームを所望の波長に維持する前記制御パラメータを調整する信号を生成する手段と、

を備えることを特徴とする波長安定化レーザ。

21. 前記フィルタ手段は、クロスオーバ・フィルタの特性を有する格子の対を含むことを特徴とする請求項20に記載の波長安定化レーザ。

22. 前記フィルタ手段は、単一の波長を選択する格子を含むことを特徴とする請求項20に記載の波長安定化レーザ。

23. 各レーザが近接した他の1つのレーザから約2 Å相違する名目上の動作波長を有する複数の半導体レーザと、

分離したデータ信号を有する前記レーザの夫々を変調する手段と、

前記レーザの夫々に接続され、前記レーザの動作波長をその名目上の動作波長点の約2 Åまたはそれ未満に安定化する制御手段であって、そのクロスト・スペクトル応答特性に従って前記レーザを制御する複数のホログラフィック反射フィルタを含む制御手段と、

レーザの変調した安定化出力の波長をマルチプレクスする手段と、

を備えることを特徴とするマルチ・チャネル転送システム。

24. 前記レーザの出力波長は、前記フィルタにおけるボリューム・ホログラフィック格子から生成された波長制御デバイスに対するフィードバック信号を使用して、指定された波長で固定されることを特徴とする請求項23に記載の装置。

25. 温度を変更することにより前記レーザの出力波長を制御する手段と、ボリューム・ホログラフィック反射格子を使用して、前記レーザの出力の波長のずれ

を検知する手段とをさらに備えることを特徴とする請求項24に記載の装置。

26. 前記レーザの出力波長を、ボリューム・ホログラム反射器からの光学フィードバックを使用して所望の値で固定する手段をさらに備えることを特徴とする請求項23に記載の装置。

27. レーザから精密な所望の波長出力を獲得する装置であって、

格納された2または3以上の格子の対を有するホログラフィック記録エレメントであって、各格子の対は、前記レーザの所望の動作点波長を定義し、前記格子の対はそれらのクロストークを無視可能なように実質的に分離されたホログラフィック記録エレメントと、

前記格子の対の付近における波長で出力ビームを生成すべく、前記レーザを調整する手段と、

を備えることを特徴とする装置。

28. 各格子の対における前記格子は、その格子の対によって定義された所望の動作点の上及び下に僅かにシフトした波長に中心を有することを特徴とする請求項27に記載の装置。

29. 前記ホログラフィック格子の対は、ディスクリットに調整可能な分配フィードバック・レーザを提供すべく、前記記録エレメントにおける規則的な波長の間隔で分配されることを特徴とする請求項28に記載の装置。

30. 前記レーザは、温度調整型の分配フィードバック・レーザであることを特徴とする請求項29に記載の装置。

31. 所望の動作点波長の間のスペースは、少なくとも前記格子の1つの全体幅の2分の1の幅よりも大きい規模のオーダーであることを特徴とする請求項27に記載の装置。

32. 前記調整する手段は、

前記格子の対から反射された出力ビームの特性を解析し、それを示す検知器の出力信号を生成する1つまたはそれ以上の検知器と、

前記検知器に接続され、検知器の出力信号間の差分を決定し、それに基づいて前記出力ビームの波長を制御し、これにより、前記検知器の出力信号間の前記差

分を予め定められた値にする制御手段と、

を備えることを特徴とする請求項27に記載の装置。

33. 第1の組の光ビームを発生する外部波長スタンダードとしてボリューム・ホログラフィック格子を使用する複数の正確な波長レーザと、

前記第1の組の光ビームを第2のマルチプレクスされた光ビームと合成する手段と、

前記第2のマルチプレクスされた光ビームを転送する手段と、

前記第2のマルチプレクスされた光ビームを第3の独立した波長の光ビームに

分離する、光屈折材料における複数のボリューム・ホログラフィック格子と、

分離された第3の独立した光ビームを検知する手段と、

を備えることを特徴とする波長分割マルチプレクシング通信システム。

34. 前記第1の組の光ビームは、夫々互いに異なる波長で動作することを特徴とする請求項33に記載の装置。

35. 前記第1の組の光ビームを前記第2のマルチプレクスされた光ビームと合成する手段は、前記第2のマルチプレクスされた光ビームを生成すべく、前記第1の組の光を波長マルチプレクスする手段を含むことを特徴とする請求項33に記載の装置。

36. 前記第3の独立した波長の光ビームは、夫々互いに異なる波長で動作することを特徴とする請求項33に記載の装置。

37. 前記レーザは、クロスド・ホログラフィック・フィルタ型の分布フィードバック・レーザであることを特徴とする請求項33に記載の装置。

38. 前記レーザは、夫々が単一のホログラフィック格子波長標準にロックする分布フィードバックレーザを含むことを特徴とする請求項33に記載の装置。

39. 前記レーザは、波長選択ボリューム・ホログラフィック反射器を有する複数の外部空洞・レーザを含むことを特徴とする請求項33に記載の装置。

40. 前記第1の組の光ビームを前記第2のマルチプレクスされた光ビームと合成する手段は、光屈折クリスタル中に複数のボリューム・ホログラム格子を含むことを特徴とする請求項33に記載の装置。

4 1 . 光学的増幅システムにおけるノイズレベルを低減するシステムであって、
波長 λ_0 で光学的出力を発生する正確な波長レーザと、
前記レーザに接続され、前記光学的な出力を増幅する光学的な増幅器と、
前記光学的な増幅器に接続され、前記光学的出力からの所望の波長以外の全てをフィルタリングする狭小な幅のホログラフィック・フィルタであって、該フィルタは、 λ_0 の中心波長を有する1つまたはそれ以上のホログラフィック格子を含み、該格子は、前記光学的な出力の全スペクトラムを反射するのに十分な幅であるが、ノイズを取り巻かない、
ことを特徴とするシステム。

4 2 . 前記レーザは、前記光学的出力を波長 λ_0 に維持すべく、前記フィルタからのフィードバックを使用することを特徴とする請求項4 1 に記載の装置。

4 3 . 前記レーザは、交差フィルタ型の分布フィードバック・レーザと、ボリューム・ホログラム・フィルタにロックした分布フィードバック・レーザと、ボリューム・ホログラムの外部空洞・レーザとを含むグループから選択されたレーザを含むことを特徴とする請求項4 2 に記載の装置。

4 4 . 第1の周波数 f_1 に対応する第1の波長 λ_1 で第1の光学的出力を発生する第1の正確な波長レーザと、

第2の周波数 f_2 に対応する第2の波長 λ_2 で第2の光学的出力を発生する第2の正確な波長レーザと、

周波数差 $f_1 - f_2$ を含む第3の周波数 f_3 に対応する第3の波長 λ_3 で第3の光学的出力を生成すべく、前記第1及び第2の光学的出力を光学的にヘテロダインを発生させる手段と、

を備えることを特徴とするシステム。

4 5 . 前記第1及び第2のレーザは、夫々1つまたはそれ以上のボリューム・ホログラムからのフィードバックを用いたレーザを含むことを特徴とする請求項4 4 に記載の装置。

4 6 . 前記第1及び第2のレーザは、交差フィルタ型の分布フィードバック・レーザと、ホログラフィック・フィルタ・ロック型の分布フィードバック・レーザ

と、ボリューム・ホログラムの外部空洞・レーザとを含むグループから選択されることを特徴とする請求項44に記載の装置。

47．前記波長 λ_1 は、波長 λ_3 が約9mmになるように、670mm周辺で0.5Åの波長から分離されることを特徴とする請求項44に記載の装置。

48．前記第3の波長 λ_3 は、マイクロメートルの範囲であることを特徴とする請求項44に記載の装置。

49．前記第3の波長 λ_3 は、ミリメートルの範囲であることを特徴とする請求項44に記載の装置。

50．前記だ1及び第2のレーザは、夫々ホログラフィック反射器を含み、該装置は、前記ホログラフィック反射器の波長を変更することにより、波長 λ_1 及び

波長 λ_2 を調整する手段をさらに備えることを特徴とする請求項44に記載の装置。

51．反射器の一面を境界としたレーザ媒体を有するレーザ照射デバイスの出力波長を制御する方法であって、

前記反射器を境界としたビーム軸に沿って前記デバイスからのレーザ照射を方向付ける工程と、

選択された出力波長で、前記ビームの狭小な幅成分のみ前記軸に沿って前記反射器前方へ反射する工程と、

前記レーザ照射デバイスからのコヒーレントな波エネルギーを前記軸に沿って転送する

工程と、

を備えることを特徴とする方法。

52．前記選択された出力波長は、可視光の範囲であることを特徴とする請求項51に記載の方法。

53．レーザ利得媒体と、第1の空洞境界を定義する高反射面を有する第1の面と、前記レーザ利得媒体と前記第1の面とに調節された非反射面を有する第2の面とを有するレーザと、

外部空洞を定義すべく、前記レーザから選択された距離に配置され、前記レー

ザ利得媒体と前記第1の面とに調節された光学的に無感度なホログラフィック反射画像デバイスであって、約 1.0 \AA 以下のスペクトラム範囲の所望の動作周波数での体積分布格子反射性と、少なくとも約10%のオーダーでの回折効果とを有するホログラフィック反射デバイスと、

レーザ照射を発生すべく前記レーザを励起する手段と、

を備えることを特徴とする外部空洞・レーザ。

54. 前記ホログラフィック反射画像デバイスの波長は、赤外光であることを特徴とする請求項53に記載のレーザ。

55. 前記ホログラフィック反射画像デバイスは、電磁気スペクトラムの赤領域における光感度を増加すべく、高濃度のFeをドープしたLiNbO₃のクリスタルを含むことを特徴とする請求項53に記載のレーザ。

56. 波長を調整するために前記ホログラフィック反射画像デバイスに接続された手段を含み、前記レーザ利得媒体は、ファブリ・ペロー・レーザをさらに含むことを特徴とする請求項53に記載のレーザ。

57. 複数の半導体レーザから1つまたはそれ以上の正確な波長のレーザビームを発生するシステムであって、

アレイ状に配置された複数のレーザ利得デバイスであって、その夫々がレーザビームの軸と、前記ビームの軸に垂直な実質的に非反射の面とを含む複数のレーザ利得デバイスと、

前記非反射の面から距離をもって配置された平面的な波長選択光反射器であって、該反射器は、レーザ利得媒体からの投射にブラッグ整合し、他の全波長を透過する永続的なホログラフィック格子を含み、反射された放射は、ホログラフィック格子によって定義される波長で前記レーザ利得デバイスからのコヒーレントなビームを補強し、これにより、選択された波長で複数の空間的にコヒーレントなビームが生成される、

ことを特徴とするシステム。

58. 前記反射器は、単一の波長の出力を生成するため、特定の波長で単一のホログラフィック格子であることを特徴とする請求項57に記載のシステム。

59. 前記反射器は、互いに異なる投射波長で夫々反射する別個独立したホログラフィック格子に含まれることを特徴とする請求項57に記載のシステム。

60. 未知媒体の分析を行う示差吸収スペクトロスコーピー装置であって、
前記未知媒体を通過するように方向づけられる出力ビームを生成するために、
1つかそれ以上のボリュームホログラフィック格子からのフィードバックを利用するレーザを備える精密波長レーザと、

前記未知媒体による出力ビームの放出と吸収を検出する検出器と
を備えることを特徴とする示差吸収スペクトロスコーピー装置。

61. 前記精密波長レーザは、ボリュームホログラフィックフィルターロックド分布フィードバックレーザと、交差フィルタ分布フィードバックレーザと、ホログラフィック格子外部空洞レーザとを備えるグループから選ばれたレーザを備えることを特徴とする請求項60に記載の示差吸収スペクトロスコーピー装置。

62. 前記出力ビームを異なる波長に調整するために、前記レーザの波長を変える手段をさらに備えることを特徴とする請求項61に記載の示差吸収スペクトロスコーピー装置。

63. 前記変える手段は、前記ボリュームホログラフィック格子の温度を制御する温度制御手段を備えることを特徴とする請求項62に記載の示差吸収スペクトロスコーピー装置。

64. 前記変える手段は、前記ボリュームホログラフィック格子を含む媒体上に交差透過電極が適用された電氣的フィールドを備えることを特徴とする請求項62に記載の示差吸収スペクトロスコーピー装置。

65. 複数の精密な波長レーザと1つかそれ以上の検出器をさらに備え、
前記レーザによって生成された出力ビームは、互いに異なる既知の固定波長を有し、

前記レーザからの出力ビームは、未知の媒体を通過して、各々の検出器に向かい、異なる波長で放出と吸収を同時に獲得することを特徴とする請求項60に記載の示差吸収スペクトロスコーピー装置。

66. ボリュームホログラフィック反射格子を用いて、レーザからの出力ビー

ムの波長を、外部波長標準にロックする方法であって、

前記レーザの出力ビームの一部を、既知の格子周期を有するボリウムホログラム反射格子に方向づけし、

前記ボリウムホログラム反射格子を通じて伝送される前記出力ビームの光学的パワーを測定し、

最小パワーが、前記ボリウムホログラム反射格子を通じて伝送されるまで、前記出力ビームの波長を調整し、前記ボリウムホログラム反射格子でのブラッグ (Bragg) 条件を満足させる

各工程を備えることを特徴とする方法。

67. 前記ボリウムホログラム反射格子のブラッグ (Bragg) 条件を満足させる中心波長は調整可能であり、それによって、可変波長のレファレンスを提供することを特徴とする請求項66に記載の方法。

68. 前記ボリウムホログラム反射格子の波長は、前記ボリウムホログラム反射格子を含む媒体を傾けることによって調整され、前記中心波長をより短い波長にシフトすることを特徴とする請求項67に記載の方法。

69. ボリウムホログラフィック反射格子を用いて、レーザからの出力ビームの波長を、外部波長標準にロックする方法であって、

前記レーザの出力ビームの一部を、既知の格子周期を有するボリウムホログラム反射格子に方向づけし、

前記ボリウムホログラム反射格子を通じて伝送される前記出力ビームの光学的パワーを測定し、

最大パワーが、前記ボリウムホログラム反射格子から反射されるまで、前記出力ビームの波長を調整し、前記ボリウムホログラム反射格子でのブラッグ (Bragg) 条件を満足させる

各工程を備えることを特徴とする方法。

70. 前記ボリウムホログラム反射のブラッグ (Bragg) 条件を満足させる中心波長は調整可能であり、それによって、可変波長のレファレンスを提供することを特徴とする請求項69に記載の方法。

71. 前記ボリウムホログラム反射格子の波長は、前記ボリウムホログラム反射格子を含む媒体を傾けることによって調整され、前記中心波長をより短い波長にシフトすることを特徴とする請求項70に記載の方法。

72. 外部波長レファレンスとしてのボリウムホログラム反射格子を用いるレーザであって、

前記レーザの出力の一部が、前記ボリウムホログラム反射格子に方向づけられる、波長制御機構を含む可変波長レーザと、

前記ボリウムホログラム反射格子の反射波長を調整する手段と、

前記ボリウムホログラム反射格子によって反射されるパワーが極小値になるまで、前記レーザの出力の波長を調整する手段とを備えることを特徴とする方法。

73. 前記ボリウムホログラム反射格子の反射波長は、前記ボリウムホログラム反射格子への、前記出力の投射角を変えることによって調整されることを特徴とする請求項72に記載の方法。

74. 前記レーザは、調整可能外部空洞半導体レーザと色素レーザと調整可能個体レーザと電流調整分布フィードバックレーザと温度調整分布フィードバックレーザとを備えるグループから選ばれることを特徴とする請求項72に記載の示差吸収スペクトロスコピー装置。

75. レーザ出力波長を、固定で既知の標準に制御する調整可能な波長標準デバイスであって、

前記レーザ出力を、通常投射で、かつ、固定波長で反射するために構成されたボリウムホログラム反射格子と、

反射された出力を生成するために、前記レーザ出力の一部を、前記ボリウムホログラム反射格子に方向づけし、

前記ボリウムホログラム反射格子からの反射出力の中心波形を変える手段と、

前記反射出力の伝送パワーを検出し、前記伝送パワーが極小になるまで、前記レーザの出力波長を制御する手段と

を備えることを特徴とする波長標準デバイス。

76. 前記中心波形を変える手段は、前記レーザ出力の投射に対して、前記ボリュームホログラム反射格子を含む媒体を傾け、前記反射出力の中心波長をシフトさせる手段を備えることを特徴とする請求項75に記載の波長標準デバイス。

【発明の詳細な説明】

発明の名称

ボリウムホログラムからのフィードバックを用いた波長安定化レーザソース

1. 発明の分野

本発明は、ボリウムホログラム波長標準からのフィードバックを用いたコヒーレント波ソースの出力波長を制御するシステムと方法に関し、特に、高精度にレーザ出力波長を制御する改良された方法とデバイスに関する。

レーザからの光学出力は、外部波長標準として働く高分離度のボリウムホログラムの反射格子によって、フィルタリングされる。また、その出力波長を制御するために、光学的か電気的信号の形態でそのレーザにフィードバックされる。

2. 関連技術の説明

ボリウムホログラム反射格子は、非常に正確で、広域スペクトラムから狭バンド光をフィルタリングする温度安定化手段であることが示されている。この技術は実践的アプリケーションで示されている。ここでは、 6564.6 \AA ($H\alpha$) のソーラ吸収波長でのハーフマキシマム (FWHM) パスバンドで $1/8 \text{ \AA}$ の幅を持つホログラフィックな格子光学フィルタが構成された。さらに、そのようなフィルタは、任意に選択可能な波面曲率と中心波長と出力ビーム方向を有する。このアプリケーションでの、鉄 (Fe) がドーピングされたメタニオブ酸リチウム (LiNbO_3) のフィルタ基板の温度安定性は、温度の関数としてそのフィルタの波長シフトを測定することによって決定された。この温度誘引の波長シフトは、 6564.6 \AA で、約 $1 \text{ \AA} / 30^\circ\text{C}$ であった。(G.A. Rakuljic V.Leyva, "ボリウムホログラフィック狭バンド光学フィルタ"、Opt. Lett. Vol. 18, pp. 459-461 (1993) 参照)。

LiNbO_3 のような光屈折クリスタルは、光学フィルタや高回折効率を有するホログラフィック光学メモリのようなボリウムホログラフィック格子を格納するための効果的媒体であるとして示されている。これらの材料での高回折効率反射格子を記述するための技術に関連して、引き続いて起こる照明によって消去できな

い格子を"確立する (fixing)" 方法が開発されている。(例えば、J.J. Amode

i, D.L. Staebler, "メタニオブ酸リチウムでのホログラフィック記録", RCA Review, Vol. 33, pp. 71-94(1972)と、V. Leyva and G.A. Rakuljic, "光屈折材料での狭帯域ボリュームホログラムのための確立方法", "米国特許No.07/965746(1992)"と、G.A. Rakuljic and A. Yariv, "光回折システムと方法", "米国特許No.07/908298(1992)"参照)。さらに、通常の赤外線投射でのブラッグ(Bragg)反射する平面格子は、正確な投射角とより短い波長の光での転送モードの何学幾様式で、その側面から書き込む技術を用いて、 LiNbO_3 でうまく記録されている。ここで、その材料の光感度は、その赤外線よりもかなり高い。(G. A. Rakuljic and V. Leyva, "赤外線波長での光回折材料を用いるための方法とデバイス", "米国特許No.07/991571(1992)")。

W D M (Wavelength Division Multiplexed) ファイバー光学通信と、エルビウム (Er) がドーパされた光学ファイバーアンプ (EDFA) や個体レーザーのような多様な媒体のためのポンプレーザーと、示差分光使用技術のための照明ソースと、コンパクトで精密な波長ソースを必要とする他のアプリケーションのためには、転送ソースとしての正確な波長のレーザーが必要となる。

遠隔通信では、半導体レーザーが小型で低コストで高効率で高速変調が可能であるため、使われている。これらのソースは、典型的には、従来の光学ファイバーのゼロ分光点である $1.3 \mu\text{m}$ 帯域で動作する。また、最近では、これらのソースは、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯域で動作する。これは、その帯域では、最小の損失で、かつ、エルビウム (Er) がドーパされた EDFA が使用であるためである。

光学遠隔通信で使用された従来の半導体レーザーは、それらの利得媒体の広いスペクトル幅のために、波長の不確かさという固有の問題を持っている。このことは、光学的利得がレーザー洞での全損失を上回る広い範囲の波長でのレーザー発振を許容している。結果として、単純なファブリ-ペローのレーザー出力は、マルチモードであり、そのため、その波長は、その目標波長設計値として、 100 から 200 \AA に指定することができる。より高価な分布フィードバック (DFB) や分布ブラッグ反射器 (DBR) レーザーは、分布反射部を統合して、シングルモードの固定の波長出力を生み出す。しかし、この出力は、約 40 \AA の精度で具体化する

ことができる。このことは、同じ製造ロットのレーザ間では正しい。さらに、それらの動作波長は、温度変化とレーザの経年変化によって、使用中にドリフトすることがある。近年、将来の光通信システムでの追加容量に対するニーズのため、WDMが大きく注目されている。高容量リンクへの現在のアプローチは、時分割マルチプレクス(TDM)に依存している。ここでは、ファイバーでの情報伝送容量を増やすために、極端に高速な変調速度(1 THzかそれ以上)が提案されている。各ファイバーが、それ自身のリピータのセットを必要とするにもかかわらず、多重並列ファイバーリンクは別のオプションである。これは、長距離での設置では極端にコストを上昇させることになる。

EDFAの登場は、ファイバー通信システムにおいて、WDMを極端に魅力的なものにしている。単一のEDFAは、光の広スペクトラム(約400 Å幅)を増幅できる。また、単一のファイバーが、多重波長信号を共通のアンプでサポートすることを可能にしている。このことは、特に、波長チャネルが、EDFAの増幅バンド幅内で共に近くに配置できるならば、単一のファイバーの情報伝送容量を何倍にも増加させる。しかしながら、WDM技術を利用しようとする過去の試みは、半導体レーザの十分な波長精度の欠落によって制限されている。

半導体出力波長のこの不確かさは、多重波長遠隔通信システムでのチャネル伝送容量を制限している。完全な狭帯域フィルターとカップラーであっても、WDM通信システムでのチャネル伝送容量は、レーザソースの絶対的精度によって制限されている。この波長精度の不足した半導体レーザは、WDM遠隔通信システムの広範囲での開発と配備を妨げている。

[発明の概要]

上述の従来技術でのそれらの限界を克服するために、また、本発明を読み理解する上で明らかになる他の限界を克服するために、レーザは、波長標準として用いられたボリウムホログラフィック格子からのフィードバックを利用して、レーザ出力波長を所望値へロックする。このフィードバックは非光学的に行うことが可能である。この場合、外部制御機構によって、ホログラフィックフィルタ出力をその波長を動的制御するために使う。また、このフィードバックを光学的に

行うには、ボリウムホログラム反射格子が、光学的フィードバックを生成してレーザを増幅させるために使われる。

第1の実施の形態では、ボリウムホログラム反射格子を用いて、レーザ出力パワーの一部がフィルターにかけられ、検出器に方向づけられる。波長標準として使われるボリウムホログラムは、波長精度のために一定温度に保持されている。それから、検出器からの信号は、この情報を用いて所望の出力波長が得られるまでレーザ波長を調整する制御システムに送られる。このシステムを、色素レーザや調整可能な個体レーザや半導体レーザのような、外部調整可能なレーザを用いた構成に変形して使うことは可能である。例えば、DFB半導体レーザは、熱電ペルティエ（Peltier）冷却器を介して、その温度を変化させることで調整される。DBRレーザは、ブラッグ反射セクションを通過する電流を調整して、その屈折率を変えることによって調整される。そして、色素レーザ、個体レーザ、そして、格子が調整された外部空洞半導体レーザは、電氣的または電氣機械的に制御された複屈折フィルターやエタロン（etalons）や回折格子によって調整される。

改良された波長安定化通信レーザに適用されたより具体的な例をあげると、DFBレーザが温度制御されたヒートシンク上にマウントされ、その温度制御が波長調整機構として使われている。その出力の一部は、レーザの所望の動作波長での反射がブラッグ（Bragg）整合するボリウムホログラムにカップリングされ、検出器に向かう信号をフィルタする。その信号値が最大で、そのレーザは所望の波長で動作する。そのレーザの波長は、フィルタ応答の局所的勾配を決定する制御システムによってゆらされ、検出器が、そのレーザが帯域内にあることを示す最大信号値を検出するまで調整される。そのレーザ出力が帯域をはずれてドリフトすると、その制御システムは、その出力がフィルタの中心波長に戻るよう調整する。

上述のシステムの変形は、所望の波長の上下にわずかにシフトした中心波長を有する2つのホログラフィック格子を用いる。これらのホログラフィック格子は、ディスクリートか、または、同じ広がりをもって、同じクリスタルに書き込まれたもののかのいずれか一方である。従って、そのレーザの動作点は、2つのフィ

ル

ターのピーク間にある。その2つのフィルターの中心波長が選択される。それらのスペクトラル応答曲線の対面勾配は、所望の動作波長で交差する。このことによって、交差ホログラフィックフィルタやクロスオーバーホログラフィックフィルタを備える。2つの検出器からの出力信号は、差動アンプによって差分がとられ、そして、出力の総和によって正規化されたため、ひずみ量と同様にその方向を決定できる。このことは、波長歪みの局所的勾配を決定するために、その波長をゆらす必要性を無くする。正規化された差分信号は、レーザ出力波長のひずみ量と方向を決定するプロセッサと制御部によって使われ、また、レーザの温度をそれに対応して調整する。その温度制御では、動作温度がレーザ出力を設定された波長を維持するように、連続的に細調整を行う。

本発明の別の対応では、2つのスペクトラル応答曲線間の交差点のように、安定化していることが検出される動作点は、安定化しているソースの動作波長に対応している必要はない

生成される波長に関連して、異なるか、あるいは、精密に配置されないスペクトラル応答曲線に対して補償するために、オフセット要因を導入することができる。また、示差測定や校正の目的で、そのソースの動作波長の調整を行わないとき、この特徴を使うことができる。

上述のアプローチのいずれか一方を用いることで、波長の調整容易性（約1 Åかそれ以上の離散的なインクリメントでの）に係る別な特徴を有する高精度波長レーザデバイスを構成することができる。所望の波長に対応する多数の回折格子（や交差フィルタ例での回折格子ペア）が、個々の回折格子の帯域幅よりかなり広い回折格子間の間隔で、光屈折のあるクリスタルに記録される。そのレーザは、上述の例と同じプロセッサと制御アーキテクチャを用いて、フィルタかフィルタペアうちの1つに近い波長に（温度や他の手段によって）調整される。その後、そのレーザ波長制御機構は、ホログラフィックフィルタからのフィードバック信号を用いて、その出力波長を設定点にロックする。

さらに、本発明に対応して、これらの波長安定化システムを、コヒーレントな

光学的、または、赤外線エネルギーソースと共に用いることができる。ここで、

その波長は、幾つかのパラメータを調整することで、少なくともある程度まで制御可能である。遠隔通信アプリケーションのために、最も有望なソースは、温度調整のDFBレーザと電氣的調整可能なDBRレーザである。

本発明の第2の実施の形態では、レーザ出力波長をホログラフィック格子の波長にロックさせるために、光学的フィードバックを利用する。これは、レーザ共振器の空洞ミラーの1つとしての、狭帯域幅を有することで特徴づけられるホログラフィック格子反射部を用いることで実現され、これによって、波長制御機構として光学的フィードバックを用いる。狭帯域幅のホログラフィック格子反射部は、レーザに、ボリューム格子の波長である特定の波長だけで発振させるようにする。この技術は、原理的には、ホログラフィック格子からの反射がレーザ発振を可能とする光学共振器内で十分なフィードバックを生成するレーザ利得媒体と共に用いることが可能である。

本発明の1つの具体例は、外部反射部としてのボリュームホログラフィック反射格子を用いた外部空洞半導体レーザである。(高価ではない)ファブリ-ペロー(Fabry-Perot)半導体レーザの一面は、非反射(AR)コーティングされており、他の面は、高反射コーティングされている。レーザでの所望の高精度の動作波長での通常投射でのブラッグ(Bragg)反射であるホログラフィック格子が、ARコーティング裏面からレーザに対する放射を反射するために配置される。その適切な配置で、ホログラフィック格子と半導体レーザの高反射面によってはね返される外部空洞内だけで、レーザ発振が発生する。その格子は、狭い波長スペクトラム(大体0.5Å以内、格子厚に依存する)でのみ反射する。従って、そのレーザ出力は、固定波長に、非常に高精度にロックされる。

この実施の形態では、光回折するLiNbO₃クリスタルである格納媒体に、平面波反射ホログラムを書き込むことにより、ボリュームホログラフィック格子が作られる。そのため、通常投射でのレーザの所望動作波長の逆反射光にブラッグ(Bragg)整合する。その格子は、クリスタルの光回折感度範囲内の波長に対する逆伝搬の幾何学様式で、意図された動作での波長と同じ波長で、直接書き込まれる

。あるいは、より長い波長では、より短い波長で、横方からのオフ軸 (off-axis) ビームを用いることによって、この格子が間接的に書かれる。ここで、" G.A . Ra

kuljic and V. Leyva, 米国特許No.07/965746, (1992)" で記述されているように、そのクリスタルは、より高い光感度を有し、適度の格子間隔を得ることができる。その格子は固定され、動作中、照明によって消されることはない。

レーザ出力の精密制御を達成する能力は、多くのシステムアプリケーションの細分化をもたらしている。WDMシステムでのソースは、例えば、従来に比べて、非常に小さいバンド分離を備えることができる。そして、光学ファイバーや光学ファイバーアンプでの利用可能な伝送スペクトラムのより効率的な利用が可能になる。異なる周波数の2つの波長安定化信号をヘテロダインすることができ、光学的バンドやマイクロ波バンドで異なる出力を生み出すことができる。最も効率のよい増幅ができる、その吸収スペクトラムの部分で、レーザのためのポンプエネルギー (Pump energy) を生み出すことが可能である。これらと他の利益は、ホログラフィックフィルターが、デバイスとシステム動作での波長標準として働く安定な副リファレンスとして作用し、また、温度と電圧変化に強いため、容易に安定化できることから、得られる。

図面の簡単な説明

本発明のよりよい理解のために、以下に示す詳細な記述と添付図を参照されたい。ここで、

図1は、ボリュウムホログラフィック格子を用いて、フィードバック (電氣的か光学的信号のような) を生成して、レーザの出力波長を高精度に制御する概念図である。

図2は、単一のホログラフィックフィルターの反射から、固定された標準値を参照して実際の出力波長を調べる検出器と、レーザの波長を調整する電氣的または電気機械的または温度の手段への電気信号フィードバックを用いて、レーザの出力波長を制御する方法を示す図である。

図3は、図2のアーキテクチャでの検出器からの信号のスペクトラル応答のグ

ラフである。ここで、フィルター応答は λ_0 を中心とし、また、レーザの実際の動作波長は λ で示されている。

図4は、光学的遠隔通信での利用に好適な波長安定化レーザシステムの図である。ここで、この例では、熱伝デバイスによる温度制御によって調整されるDFBレーザが、ポリウムホログラフィック格子からの電氣的フィードバックによって安定化される。

図5は、ホログラフィックフィルタがブロッキングモードで使用されていることと、プロセッサがレーザ出力波長をロックするための最大信号値を検出するように設計されていること以外は、図2に図示された実施の形態の図である。

図6は、図2、図4、図5に描かれた実施の形態で使われている多数のホログラフィックフィルタのスペクトラル応答のグラフであり、この方法を使って、選択可能な波長での能力を有するレーザはどのようにインプリメントされるかを示している。

図7は、実験的手段から得られる幾つかの校正点と比較される LiNbO_3 ($n_0 = 2.13$) の 6795 \AA の逆伝搬ビームで書き込まれた回転平面波格子における回転曲線のプロットを示す図である。

図8aと図8bは、(8a) ディスクリットホログラフィック格子と(8b) 単一のクリスタルでマルチプレクスされた2つの格子を用いて、波長安定化のための交差フィルタの方法を図示している図である。

図9a、図9b、図9cは、交差フィルタの応答を描いたスペクトラムのグラフである。また、交差フィルタの交点から回転がはずれることを許容するために信号オフセットを導入する方法を描いている。

図10は、図2で描かれているものに似ているレーザを用いた場合での、多数の交差ホログラフィックフィルタからのスペクトラル応答のグラフである。しかし、多数の波長のどの1つでも実行可能である。

図11は、交差フィルタ波長安定化方法を用いた、遠隔通信でのアプリケーションに好適なDFBレーザを図示した図である。

図12は、ポリウムホログラム外部空洞半導体レーザの図である。

図13は、能動的温度制御がないが、 6736.4 \AA のポリウムホログラム反射部と低駆動電流（約 31 mA ）で動作するレーザとともに、東芝製TOLD9215可視レーザダイオードを用いた場合のホログラフィック外部空洞レーザのスペクトラムのグラフである。

図14は、より高駆動電流（ 37 mA ）の場合での、図12の外部空洞可視レーザダイオードのスペクトラムのグラフである。

図15は、 840 nm のホログラフィック外部空洞レーザのスペクトラムのグラフである。ここで、反射部は、 T_i ：サファイアレーザを用いて、 0.15% の鉄（Fe）がドーパされた LiNbO_3 クリスタルに書き込まれる。

図16は、上述の親のアプリケーションで述べられた方法で書き込まれた赤外線ホログラフィック格子を用いた場合での、 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ で動作するホログラフィック外部空洞レーザのスペクトラムのグラフである。

図17は、一面がARコーティングされた改良レーザを用いた場合での、 665 nm のホログラフィック外部空洞レーザのスペクトラムのグラフである。

図18は、ホログラフィック外部空洞レーザのスペクトラムのグラフである。ここで、ポンピング個体レーザや光学アンプのような高パワーアプリケーションのための単一のホログラフィック格子を用いて、個々のレーザは同じ波長にロックされる。

図19は、ホログラフィック外部空洞レーザのスペクトラムのグラフである。ここで、個々のホログラフィック格子の配列を用いることによって、個々のレーザは異なる波長にロックされる。個々のホログラフィック格子は、レーザの所望の波長に対応する。

図20は、精密な波長ソースとして波長安定化レーザを用いた場合の、波長分割マルチプレクス（WDM）システムの図である。

図21は、個体レーザや改良ポンピング効果のための光学アンプのような光学的媒体のためのポンプとしてのホログラフィックフィードバック精密波長ソースのアプリケーションを示す図である。

図22は、わずかに異なる波長で動作する2つのレーザを用いて、マイクロウ

エーブやミリメートル波信号生成の方法を示す図である。

図23aと図23bは、精密波長ソースとしてボリウムホログラム安定化レーザを用いた、示差吸収スペクトロスコピー装置(differential absorption spectroscopy apparatus)の図である。ここで、この装置は、マルチ波長の能力(図22a)を有するレーザの利用と、既知の固定波長(図22b)の2つのレーザの利用を含む。

発明の詳細な説明

以下、本発明を実施した特定の実施例を図解した添付図面を参照しながら、本発明を説明する。本発明の範囲を逸脱しない範囲で他の実施例が使用され得ることや構成を変更し得ることを理解されたい。

図1において、光屈折クリスタル(photorefractive crystal)や外部レファレンスエレメントとして適切な他の媒体におけるボリウムホログラム格子12を用いたレーザシステム11の出力波長の制御方法の一般的な概念が説明されている。レーザの外部波長標準として機能するボリウムホログラム格子からのフィードバックがその出力波長を制御するために使用される。このフィードバックは、レーザ波長の能動的制御により電氣的に行うこともできるし、ホログラフィック格子(holographic grating)から反射された光を受動処理において使用して光学的に行うこともできる。

能動フィードバックの手法においては、ホログラフィック格子に反射された光は検知器に導かれ、レーザ出力波長を示す信号が生成される。生成した信号は、制御部によって変換され、波長を制御するデバイスを流れる電流を変化しながら、例えば熱電気の冷却器を動作させるような機構によりレーザを調整するために使用されるか、波長選択エレメントを物理的に移動するために機械的、若しくは、電気・機械的な移動制御に使用される。ボリウムホログラムからのフィードバックを使用する方法を実現する他の手法においては、フィードバックは、光学的な形態で構成され、狭小な幅のボリウム・ホログラフィック格子からの反射は、レーザのレーザケバティの一部に直接的にフィードバックされ、ボリウム・ホログラムのそれに対応する固定波長でのみレーザを発振するようにさ

れる。

能動フィードバック制御を有するホログラフィック・フィルタ・ロックド・レーザ

図2は、非常に高精度の半導体、または、その他のレーザの出力波長を制御するための方法を示す略図である。光学的な遠距離通信における高品位の分布フィードバック（DFB）や分布ブラッグ反射器（DBR）レーザのような波長制御機構の一態様であるレーザ13がソースとして使用される。両レーザは、レーザ・サブストレート自体の分布反射器を使用し、これにより、利得媒体の広いスペクトル幅にも拘わらず、シングルモードの動作を実現している。DFBレーザは、熱伝冷却器上にレーザを搭載し、それを制御することにより調整される。DBRレーザは、そのブラッグ反射器部分をながれる電流を変化させ、これにより、その屈折率、及び、ブラッグ波長を変化させることにより調整される。

しかしながら、半導体レーザは、後述の実施例の一例として使用されるに過ぎず、他のタイプのレーザを本発明の方法及び装置において使用することもできる。半導体レーザの場合は、光学的な出力は、付属の電流ドライバ14を介して高速RF、または、デジタル信号により調整される。格子15を含むクリスタルは、制御器16上に搭載され、その動作波長を固定値に維持することができ、また、それを調整することにより、特定の温度に校正したり、デチューン（detuning）したりすることができる。

レーザ13の出力は、カップラ（coupler）、または、ビームスプリッタ（beam splitter）17に伝えられ、その出力波エネルギーの少量一部がサンプルされ、その残りは出力信号として透過され、ファイバ光学通信リンク（fiber optic communications link）や他の有用なデバイスに伝えられる。サンプルされた一部は、この光信号を検出器18に反射させるために形成された狭小な線幅のボリュームホログラム反射格子を含む光屈折クリスタル15に伝えられる。ホログラフィック・フィルタの回折ピークは、レーザの所望の出力波長に中心を合わせられる。プロセッサ19は、検出器17からのデータを解釈し、波長制御部20を介して、温度または他の関連するパラメータを制御することによりレーザの動作

波長を調整する。

通常の投射反射（逆伝播する物体及び基準ビーム）幾何態様において、ホログラフィック格子の格子周期は、次式で与えられる。

$$\Lambda_g = \frac{\lambda_0}{2n_0} \quad (1)$$

また、通常のインシデンス・レフレクション・フィルタとして使用されるポリウムホログラフィック格子の最大（FWHM）幅の2分の1における完全な幅は、次式で与えられる。

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{2n_0l} \quad (2)$$

ここで、 λ_0 は波長、 n_0 は格子を含む媒体の屈折率、 l は格子の厚さである。数値の例を挙げると、 $1.55\mu\text{m}$ の半導体レーザの波長のためのLiNbO₃（ $n_0 = 2.2$ ）における 1cm 厚の格子は、約 0.5\AA の帯域幅を有する。光屈折材料におけるポリウムホログラム格子は狭小な幅であるため、フィルタは、ピーク波長の小さなシフトを検知できる。さらに、格子のブラッグ条件を満たす波長は、例えば、温度、または、圧電効果を利用するために電界を与えることなどによるクリスタルの物理的寸法の微小な変化によって変化する。

本例においては、ホログラフィック格子は、LiNbO₃のような光屈折材料の1つとして記載されている。LiNbO₃も、それらを永続的に反射するために格子を“固定”（“固定”及び“確立”と記載されることもある）させる能力を有する。フィルタの動作波長が使用される光屈折材料の光屈折率の感度範囲内（すなわち、LiNbO₃については、 $350\sim 700\text{nm}$ ）である場合、格子は、波長と共に直接的に書かれ、ビームを所望の方向に向けることができる。半導体レーザのバルクを含む赤外線領域では、平面反射格子は、転送モード・コンフィグレーションにおいて、クリスタルを可視光で側方から照らしながら書かれ、これにより、格子は、前述の特許出願に説明した反射モード幾何態様において

赤外光にブラッグ整合する。

ホログラフィック・フィルタから反射された後の検出器の出力は、波長の関数として図3に示されている。与えられた検出器の出力に関する波長におけるディジェネレイシ (degeneracy) のため、制御部は、電流動作波長に関するフィルタ応答曲線の正しい側 (correct side) を先ず決定する必要がある。これは、応答

曲線の局所的な傾きを決定するために、波長をいずれかの方向に少量ディザリング (dithering) することによってなされる。次いで、制御部は、検出器での出力が最大になるまで、または、応答曲線の局所的な傾きがゼロになる点まで波長をシフトする。レーザが波長シフトする際に、制御システムは、そのずれを検知して波長をフィルタのピークに戻す。

遠距離通信のアプリケーションに関する本実施例の実例が図4に説明されている。高品位のシングルモードのDFBレーザ21 (このタイプは、典型的には、光ファイバ遠距離通信システムに使用される) は、その出力波長の制御のための熱電ペルティエ (Peltier) デバイス22と共に、熱シンク上に搭載されている。この代わりに、ブラッグ反射器部分の屈折率を制御するために電流が使用されるDBRレーザを使用しても良い。これらのタイプのレーザの双方は、遠距離通信において共通に使用され、これは本技術の主たるアプリケーションの1つである。より、一般的には、波長を制御するための機構を有するあらゆるレーザ、例えば、調整可能な外部空洞半導体、色素または固体レーザを本波長安定化方法に使用可能である。

図4に示す例において、レーザ21は、高速アナログRFまたはデジタル信号23により、電流ドライバ24を介して調整され、その出力は、光ファイバ・ピグテイル25に伝えられる。ファイバ・カップラ26は、出力パワーの小さなパーセンテージを分離し、それをボリュームホログラム27に伝える。ボリュームホログラム27は、図3に示すように、波長 λ_0 に中心を合わせた応答曲線を有する光の狭小なスペクトルをフィルタする。フィルタ27からの反射は、検出器28へ伝えられ、その信号はプロセッサ29によって変換され、上記の方法により制御器30を介してレーザ21の波長の制御に使用される。レーザ21の残り

の出力は、ファイバ・カップラ26から出力ファイバ・リンク、または、他の有用なデバイスに伝えられる。

図5は、図2及び図4に示す方法と異なる手法を説明する図であり、フィルタ31は、反対の手法、すなわち、遮断フィルタとして使用される。この場合、プロセッサ32における制御アルゴリズムは、33が検出器34からの信号の最小を探るように設計される。再び、最初の例について、波長がいずれの方向におい

ても少量初期変動するディサリング (dithering) システムの一態様が、フィルタ31の応答の局所的な傾きを決定するために必要になる。一度、この傾きが決定されると、制御部33は、レーザ35を検出器34が信号の最小値を読み出すまで調整する。電流ドライバ36は、レーザ35の出力を調整するために使用され、ファイバ・カップラ37は、レーザの出力パワーの一部をホログラフィック・フィルタ31に伝える。

ディスクリートのマルチ波長動作に関しては、単一のクリスタルにおいてマルチプレクスされたマルチフィルタと、その反射を使用可能な単一の検出器に伝える手法が使用される。所望の動作波長に対応した各々のフィルタのピーク (図6参照) は、波長 (すなわち、 $1.55\mu\text{m}$ で、 $>5\text{\AA}$ 、 0.5\AA のFWHMの幅) に十分に分離され、それらのクロストークは無視 (例えば、 $<20\text{dB}$) できる。レーザは、所望の波長に対応するピーク付近に手動で調整され、これにより、制御システムは、レーザを正確な値に微調整する。波長を切替えるには、レーザは、次の格子付近に手動で調整され、これにより、波長安定化システムは、新たな格子のピークに動作波長を調整することができる。図6は、図2及び図4の反射フィルタ・アーキテクチャに対応するが、この包括的な概念は、図5における手法にも応用可能である。図5における手法は、反射フィルタの代わりに遮断フィルタが使用され、制御アルゴリズムは、ピークの代わりに信号の最小値を探す。

換言すると、図5に示すアーキテクチャにおいては、レーザ35の動作波長を調整するために投射ビーム (incident beam) を傾斜させることにより、様々な中心波長に調整される単一のホログラフィック格子31を使用する。通常の投

射 (incidence) で波長 λ_0 について書かれた平面格子に関しては、通常の ϕ からのずれの関数としてのブラッグ条件は、次式で与えられる。

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \phi}{n_0^2}}$$

(3)

ここで、 n_0 は屈折率である。格子 31 が通常の投射から離れるように傾斜する時、

中心波長は、青、すなわち、短波長にシフトする。初期 (通常の投射) の波長から 0 ~ 10 % の調整範囲に関しては、角度の範囲は 0 ~ 70 ° である。格子 31 が所望の波長に設定された後、レーザ波長の制御器 33 は、転送される強度の最小値を探すことにより、新たな動作波長にロックされる。

図 7 は、中心波長と、通常の投射 (incidence) で 6795 Å の回転角の関係のプロットを示している。このプロットは、上記の式 (3) を用いて得られ、確認実験は、本出願の譲受人により、2 mm 厚の LiNb₃ のクリスタルを用いてなされた。

交差フィルタ・レーザ

電気信号のフィードバックに関する他の形態は、図 8 a 及び図 8 b に示す交差フィルタ・レーザは使用するものである。これは、図 2 及び図 4 に示す構成と類似している。 λ_+ 及び λ_- の夫々における、これらの格子の中心波長は、図 9 a に示すように、所望のレーザ出力 λ_0 の前後である。スペクトル応答曲線は、スペースを除き、ピーク値及び幅において、実質的に本例と似ている。以下の検討においては、(+) の添字は、長い波長方向または赤方シフトしたフィルタを示し、一方、(-) の添字は、短い波長方向または青方シフトしたフィルタを示している。2 つのフィルタ λ_+ 及び λ_- の波長は、レーザの所望の動作波長が 2 つのフィルタ (図 9 a 参照) のスペクトル応答曲線の対向する単調な傾斜の交点になるように選択される。これは、“交差フィルタ” または “クロスオーバ・フィルタ” 構成と呼ばれるものを形成する。ボリューム・ホログラムは狭小な幅を有し、

その交点は差分曲線（図9b参照）の最も急峻に降下する領域の付近にあるため、交差フィルタの応答曲線は、極めて鋭く、すなわち、波長の小さな変化が検知器の出力の大きな変化と対応する。

このような交差フィルタの手法においては、ファイバ・カップラ39により取り込まれるレーザ38の出力の一部は、図8a及び図8bに示すように、2つのホログラフィック格子によりサンプルされる。図8aに示すシステムにおいては、ディスクリットな単一の波長ホログラフィック・フィルタ40及び41の対が使用される。他方、2つのフィルタは、図8bに示すように、単一のクリスタル42において、信号を互いに異なる角度で夫々の検出器43及び44に反射するよ

うに、同一の広がりをもつように書くこともできる。所望の動作波長のいずれかの波長を夫々有するホログラフィック反射格子の対は、ディスクリットのクリスタルであれ、単一の媒体において同一の広がりをもつものであれ、交差フィルタを含む。

交差フィルタ40及び41は、それらの対応する波長の信号を夫々の検出器43及び44に反射する。検出器43及び44からの信号は、差動／正規化アンプ45に送られる。信号は、直接アナログの差動アンプを用いて処理されるか、アナログ・デジタル変換器とデジタルの減算システムとを用いて処理される。アンプ45は利得制御を含み、検出器43及び44からの出力信号をイネーブルし、それらのピーク値が等しくなるように調整する。差動／正規化アンプ45は、2つの検出器43及び44によって計測された強度 I_+ 及び I_- の差分を、全体の強度 I_0 で正規化したものを次式に基づいて演算する。

$$\Delta I = \frac{I_+ - I_-}{I_0} = \frac{I_+ - I_-}{I_+ + I_-}$$

(4)

正規化した差分信号 ΔI は、プロセッサ46を介して、動作波長を微調整するために、差分出力に対して電圧シフト・キャパビリティを加算して47に送られる

。47は、その制御パラメータを調整することにより、レーザ38の出力波長を調整する。他の態様においては、加算及び差動アンプを有するアナログシステムをプロセッサ46の代わりに使用でき、 ΔI と同様の結果を獲得し、これを47に送ることができる。

レーザ38が、検出器43及び44からの信号が等しい特定の波長で動作している時、差動アンプ45からの出力電圧はゼロであり、レーザ38は一定に保持される。レーザ38の波長が波長の設定値 λ_0 に対応する赤方に向かってシフトする場合、 I_+ は増加し、 I_- は減少する。2つの検出器43及び44の正規化された差分信号 ΔI は、差動アンプ45から得られ、プロセッサ46に供給され、プロセッサ46は、波長制御部47に、差分信号がゼロに戻るまでレーザ38の出

力を青方シフトするよう指示する。換言すると、レーザ38の波長が青方にシフトする場合は、 I_+ は減少し、 I_- は増加し、制御器47は、出力波長が設定値に戻り、差分信号がゼロになるまで、レーザ38の波長を反対方向にシフトする。

この処理は、図9a及び9bにおいて視覚的に説明されており、ここで、平衡点は λ_0 （ここでは、 $\Delta I = 0$ ）の点である。このようにして、ホログラフィック・フィルタは、レーザの動作波長を非常に高精度、すなわち、オングストロームの数分の1以内に設定するために使用する外部波長基準を供給する。本発明に関しては、狭小な幅を有するホログラフィック・フィルタが好ましい。これは、スペクトルに応答して精密に位置決めし、構成できる特性を有するからである。同様な応答曲線と特性を有する従来の光学バンドパス・フィルタは、本質的に精度が低く、高価で、波長の厳密さを欠くということを考慮する必要がある。

電圧オフセット機構またはアルゴリズムをプロセッサ46に組み込むことにより、レーザ38を、2つのフィルタの応答曲線の交点に対応する波長以外の波長にロックすることができる。この処理は、図9cに示されており、制御エレクトロニクス、または、ソフトウェアにおけるオフセットを組み込むことにより、交差フィルタの製造における波長の小さな誤差を正す能力をシステムに与え、フィルタにホログラフィック格子を形成する際の公差の要求を緩和する。これは、ま

た、校正目的または僅かにシフトした波長での差動分光器に要求される動作のようなアプリケーションのための僅かなデチューン (detune) を許容する。

図10は、スペクトラル応答、及び、 n 個の波長のマルチプレクスされたフィルタの対を有するマルチ波長交差フィルタDFBの2つの検出器からの電流の差を示すグラフである。マルチ波長、ディスクリットに調整可能な交差フィルタDFBのレーザは、光屈折クリスタルにマルチ格子対を記録し、各組の格子が信号を同一の対の検出器に反射するようにして構成される。波長 λ_1 、 λ_2 、 \dots 、 λ_n での交差フィルタの格子は、それらのクロストークを無視できる波長（例えば、 1 \AA 、または赤外波長に関する 1 cm 厚のフィルタにおいては、それより大きい）に十分に分離される。分離は、1つの格子のFWHM幅よりも大きいオーダーであることが好ましい（ 1 cm 厚のフィルタに関しては、 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ で 0.5 \AA ）。レーザは、先ず、所望の波長 λ_i の近傍に、範囲（ λ_- 、 λ_+ ）内で調整（制御また

は他の手段による）される。上記のような制御回路は、出力波長を正確な λ_i に微調整するために使用される。

動作波長を切替えるには、レーザは、手動またはプログラム制御により、新たなフィルタの対のピークの間波長に調整され、制御回路は、交差フィルタの対に対応する正確な波長になるまで自動的に微調整を行う。波長が交差フィルタ応答の刻み目の間にセットされると、レーザは波長の交点に安定するか、オフセットのオプションを使用する場合には、予めプログラムされたオフセット値に安定する。

多くのレーザ、特に、低コストの半導体レーザは、出力波長について広い製造上の公差を有し、多くは時間と共にドリフトを生じ、動作条件により変化する。本発明の手法において使用されるホログラフィック格子は、本質的には異ならない付属的な波長標準を提供する。印加された電圧が波長の安定化に多少影響するが、その影響が重大な場合には、その電圧は直ちに制御レベルに設定される。温度は、殆どのレーザについて既知の影響を及ぼすが、その影響は非常に小さく（例えば、 30°C 当り 1 \AA ）、熱電気または他の安定化は、現状の技術において

問題ない。5 ° C の範囲内の制御は、選択された波長からのずれを 1 オングストロームの数分の 1 以内に保持する。典型的には、本発明に係る装置は、予め設定された中心波長を基準にして 2 Å 幅の範囲内で良好に動作する。しかしながら、波長安定化システムにおいて、ホログラフィック格子を書き、十分な厚さと、それによる十分な体積容量を有する光屈折クリスタルを採用することによって、目標波長は、考慮している波長において、その波長の 0.25 オングストロームのオーダー内に維持される。

図 11 は、本発明で述べた交差フィルタの波長制御システムを使用した遠距離通信ソースについて使用されるタイプの DFB レーザ 48 を示している。DFB レーザ 48 は、高速のアナログまたはデジタル信号ソース 50 により、電流ドライバ 49 を介して調整される。DFB レーザ 48 は、出力波長の制御のため、熱電ペルティエデバイス 51 に搭載されている。その出力は、光ファイバ・ピグテイル 52 に送られ、カップラ 53 により、出力ビームと交差フィルタ 54 に向けられる低パワーのサンプルビームとに分離される。交差フィルタ 54 は、光屈折器または他の適切な媒体内のホログラフィック格子を有し、これもまた波長を正確にするために制御され、反射を夫々の検出器に向ける。

検出器 55 及び 56 からの出力信号は、アナログ・デジタル変換器 57 及び 58 によりデジタル化され、差動／正規化アンプ 59 に送られ、ここで、2 つの信号の差分が直接、定量化した大きさと、2 つのフィルタの応答曲線の交点からの波長のずれの方向とを提供する。この差分信号は、波長制御システムによって使用され、プロセッサ 60 と、レーザ 48 がバンド上に調整され、差分信号がゼロになる。交点から僅かにシフトする波長での動作を望む場合は、前述のように、オフセット・アルゴリズムを制御システム中に組み込めば良い。

レーザの入力電流の振幅シフト・キーイング (amplitude shift keying; ASK) 調整のための DFB 半導体レーザとホログラフィック・フィルタの応答は、遠距離通信の用途に必要とされることが有り、数値的なモデリングの研究がなされた。レーザ出力パワーのスペクトルと、様々なシヌソイド (sinusoidal) の機能としてのホログラフィック・フィルタと、デジタルの ASK 調整パラメータは、信

号パワーの損失量と、レーザの周波数のチャープイング(chirping)に起因するデジタルのASK変調エンベロープ(modulationenvelope)を決定するために演算処理された。研究結果は、レーザ信号のパワー・スペクトムの比較的小さな損失(すなわち、約1~2dB)を示し、振幅変調における歪みは、1Åの幅のホログラフィック・フィルタにおいて、6Gbits/sec以上のデータ・レートで観察された。これは、高速変調の下でのDFBレーザにおけるチャープ(chirp)が、これらの実施例において使用されるホログラフィック・フィルタの幅を超えて十分に波長をシフトしないことを示し、重大な問題を提起している。

図11に示す遠距離通信ソースのレーザの態様において、DFBレーザ48は、電流調整型のDFBレーザによって置換することができる。制御器61及び熱電冷却器51は、ここでもデバイスを一定に維持するために使用される。プロセッサ60からの差分信号は、電流を介してレーザ48の波長を制御するために使用され、それはブラッグ反射器のサブストレートの屈折率、すなわち、反射器のブラッグ条件を変化させる。また、DBRレーザの場合は、外部調整器は、DFBレーザにおいて一般的になされるように駆動電流を直接調整する代わりに使用さ

れる。

以上の特定の例においては、DFBレーザの制御による調整が主として議論されたが、レーザに依存して、他の調整技術を採用することもまた容易である。これらの幾つかの例として、調整可能な色素レーザ、格子調整外部空洞半導体レーザ、固体レーザのようなレーザのための電圧制御、モータ駆動サーボ・アクチュエータ、電氣的に調整される波長選択器がある。電流調整型のDBRレーザの使用については上記した。

外部空洞レーザに対する光学的フィードバック

上述の例では、制御システムへのフィードバックのための信号を生成して、多数のレーザのうちのどれでも、波長を一定波長に維持させるするために、ボリュームホログラム反射格子フィルターが使われた。本発明の以下に示す実施の形態では、波長標準としてのボリュームホログラムを用いて、レーザの出力波長の安

定化させるという同じ目的を達成するために、電氣的信号フィードバックよりも光学的なフィードバックが使われる。レーザ空洞が、所望の波長でのレーザ動作を生み出す利得媒体に対する光学フィードバックを生成するために、波長選択可能な反射部としてボリュームホログラムが使われる。ホログラフィックミラーが十分に反射し、その光学利得がシステムでの損失を上回るようななどの利得媒体でも、この実施の形態で使うことができる。半導体レーザにとして、外部ミラーとして作用するホログラフィック反射部と共に、外部空洞構成の利得媒体である単純なファブリ-ペロー (Fabry-Perot) レーザを使うことができる。

図12は、本発明に係る外部空洞レーザ62の要素を描いている。ボリュームホログラム格子63を有する光回折材料は、外部空洞の端ミラーとして使われる。ここで、ボリュームホログラム反射格子63は、動作時の所望の波長にブラッグ (Bragg) 整合する。一例として、光回折材料は、一面が非反射 (AR) コーティングされ、また、2mm厚で、0.05%の鉄 (Fe) がドーピングされたLiNbO₃結晶を備える。

信号ソース65で変調されたレーザダイオード64は、外部空洞レーザのための利得媒体として使われる。一例として、東芝製TOLD9215可視レーザダイオード64が利得媒体として使われる。

レーザダイオード64は、温度制御部67によって制御される熱伝ペリティエ (Peltier) 冷却器66に結合するヒートシンクにマウントされる。温度制御部67はまた、ボリュームホログラム反射格子63のための第2の熱伝ペリティエ (Peltier) 冷却器68を制御する。温度制御が、格子63の波長の温度依存のドリフトを避けるために行われ、それは、光回折材料がLiNbO₃結晶であるとき、30℃当たり1Åのオーダーである。さらに、温度制御を行い、光回折結晶の格子63によって構成されるホログラフィックミラーでの中心波長を変えることによって、外部空洞レーザ62の出力波長を微調整できる。

通常、レーザダイオード64の表面はARコーティングが施され、スーパーluminescentダイオード (SLD) によって、ファブリ-ペロー (Fabry-Perot) モードをゼロに減らす。しかしながら、高品質、例えば、ゼロ反射で、ARコーテ

ィングされたレーザを得ることは難しかった。もし、レーザダイオード64が、ゼロ反射のためのコーティングがなされていなければ、ファブリ-ペロー (Fabry-Perot) モードが、高駆動電流のため、同様に現れる。これらの場合、レーザは、出力パワーを制限する閾値以下で動作されなければならない。

この例のレーザダイオード64は、その一面を90%の反射、また、他の面では10%の反射となるようにコーティングされる。その10%の反射率面からの出力が、光回折材料のホログラフィック格子63に向けられる。ここでは、通常投射ではレーザダイオード64に対して逆反射される。ボリュームホログラム反射格子63からの光学的フィードバックは、結果として、外部反射部とレーザダイオード64の高反射率面間で発振が形成される。その発振は、ARコーティングによって抑制された2つのレーザダイオード64面間での発振を伴う。

レーザダイオード64の低反射率面からの出力は、非球面对物レンズ69によって平行光に矯正され、そして、外部空洞レーザ62のための外部反射部として動作する光回折材料のホログラフィック格子63に方向づけられる。クリスタルの格子63は、選択された波長回りの光の狭スペクトラルバンドを反射して、レーザダイオード64に戻して、フィードバックを生成する一方で、バンド放射の全てを伝送する。十分に低吸収損失の高反射率格子63（20%かそれ以上のオーダーの）が、発振のための空洞での十分なフィードバックを獲得するために、使われる。上述の例では、対物レンズは4.5mmの焦点距離を有し、ホログラフィック格子63を構成するクリスタルは、レーザダイオード63から6インチのところに配置される。

レーザダイオード64の高反射率面と格子63によって形成された狭バンド幅ミラーは、発振がレーザ62で発生する範囲の外部空洞を備える。狭スペクトラルバンド幅（約600nmの投射照明で、2mm厚格子について0.5Åのオーダーの）であるために、外部空洞レーザ62の出力を、非常に高精度のレベルにまで制御することが可能である。外部空洞レーザ62のレーザ動作波長は、外部波長標準として作用するクリスタルのホログラフィック格子63の反射の波長だけに依存する。従って、動作波長は、ファブリ-ペロー (Fabry-Perot) レー

ザダイオード64に依存しない。そのため、別のレーザ64に置き換わった時でも、外部空洞レーザ62の出力波長に対して何の変化もない。

所望の動作波長がクリスタルの光回折感度範囲内にある場合、外部空洞反射部に対する平面格子63が、所望の波長の逆伝搬ビームによるクリスタルを照明する直接の書き込み方法で、書き込まれる。または、そのレーザ媒体自身は、その格子を書き込むように使われることが可能であり、そのことで、自己配列されることを確実にする。この方法は、レーザ64から十分な光強度が獲得され、適当な露光時間で、高効率、高品質のホログラムを書き込むことが必要である。I Rホログラフィックミラーに関して、この方法が、前出のG.A. Rakuljic and V. Lelyva, 米国特許No.07/991571(1992)で述べられている。ここで、より短い波長のオフ軸(off-axis)ビームが、所望の波長の通常投射反射でブラッグ(Bragg)整合する格子63を書き込むために、使われる。

図13と図14は、31 mA(図13)と37 mA(図14)の駆動電流に関して、スペクトラムアナライザによって測定されたホログラフィック格子外部空洞レーザの出力波長を描いているグラフである。それらのグラフに示されているように、レーザ出力は、シングルモードである。そして、その波長は、広範囲の駆動電流(と、それによる出力パワー)に関して、ホログラフィック格子のバンド幅内の6736.6 Åの一定値である。さらに、温度制御器によって、レーザダイオー

ドが熱伝冷却器にマウントされ、温度が変わるとき、その出力は、0.5 Åより小さいホログラムバンド幅内にある。

図12に示されたホログラフィック外部空洞レーザは、格子を格納するためにI R感度近辺まで増やされた高ドーパ剤濃度のLiNbO₃クリスタルを用いて、840 nmと同じ波長でデモンストレーションされたものである。ARコーティングされ、また、0.15%の鉄(Fe)がドーパされたLiNbO₃クリスタルの格子を、直接書き込み法を使って書き込むために、Ti:サファイアレーザが使われた。このクリスタルは、スペクトラダイオード研究所(Spectra-Diode Laboratories)のARコーティングされた840 nmレーザと結合された。そして、図15に、そ

の結果としての外部空洞レーザのスペクトラムを示す。

図16は、上述の本発明のアプリケーションに係る方法で書かれた赤外線ホログラフィック格子を用いて、また、 $1.293\text{ }\mu\text{m}$ の逆反射格子を得るために、クリスタルの側面からの 488 nm 光投射を用いた場合に、 $1.3\text{ }\mu\text{m}$ バンドで動作するホログラフィック外部空洞レーザのスペクトラムのグラフである。そのスペクトラムのグラフは、レーザ出力の副ローブレベルを示ために、ログスケール(Logarithmic scale)でプロットされている。その副ローブレベルは、少なくとも、ピーク値以下の 25 dB である。図13と図14の可視レーザスペクトラムのグラフにおいて、レーザは、シングルモード動作であることを示している。そして、その出力波長は、駆動電流に依存しないことがわかった。

改良されたARコーティングがなされた、名目上 670 nm のファブリ-ペロー(Fabry-Perot)半導体レーザが、近年、外部空洞レーザのデモンストレーションのために使われている。このレーザは、コロラド(Colorado)州のボールダ(Boulder)の"ナショナルインスティテュートオブスタンダードアンドテクノロジー(National Institute of Standards and Technology)"のレーザダイオードグループの工場でコーティングされた。このコーティングは、十分に高品質であるため、ファブリ-ペロー(Fabry-Perot)モードはゼロに下げられた。この外部空洞レーザの出力スペクトラルのグラフが図17に示されている。

本発明に係る本実施の形態で示された方法を用いて、ファブリ-ペロー(Fabry-Perot)レーザの動作波長を、非常に高精度に実現することができ、安価でコンパ

クトで高い波長精度のソースを構成できる。その出力波長の精度によって、WDMと、インプリメンテーションのための副波長標準と、低コストで精密な波長コヒーレントソースが必要な他のアプリケーションのために、間隔の狭いソースとしてこれらのレーザを使うことができる。

レーザ自身の外部デバイスによって、その動作波長が決定されるので、個々のファブリ-ペロー(Fabry-Perot)レーザでの動作点のわずかな変化があっても、たくさんの標準化された波長ソースを作ることができる。

関連する多様な実施の形態のなかで、上述のホログラフィック外部空洞レーザ

の変形を使うことができる。ファブリ-ペロー (Fabry-Perot) 半導体レーザーは、出力波長の精度が必要な、広域利得スペクトラムを有するレーザー利得媒体、例えば、調整可能な色素や個体の利得媒体などに置き換える可能である。ホログラフィック外部空洞半導体レーザーでは、これらのレーザーの動作波長は、ホログラフィック外部空洞ミラーによって定義づけられる。しかしながら、半導体レーザーは、非常に高い利得係数を有するので、より低い反射率は、外部空洞反射部にとって十分である。一方、比較的利得係数の低い個体クリスタルやガスプラズマチューブのような他の利得媒体には、非常に高い反射率が必要とされる。

ホログラフィック格子の中心波長への調整をしないことによって、外部空洞レーザーの動作波長をわずかにシフトさせることが可能である。1つの方法として、図12でクリスタルとともに示されている温度制御部67が、格子を含む媒体の温度を変えるために使われ、格子期間と変え、また、そのことによって、反射波長を変える。別の方法では、光電池効果と圧電効果によって光クリスタルの寸法を変えるために、クリスタルは、透過性の電導層と電氣的フィールドでコーティングされる。これらの方法のどちらかが、格子期間を変化させ、それによって、反射にたいするブラッグ (Bragg) 条件が変わる。そして、外部空洞レーザーは、新たな波長で動作するようになる。

さらに、他の半導体レーザー型もこの技術から恩恵を得ることができる。図18に、従来のレーザーか表面放出半導体レーザー (SELS) の配列の一例を示す。配列70の各レーザーからのビームは、レンズ配列71によって平行光に変えられ、そして、単一のホログラフィック格子72から反射する。このことによって、全レーザー出力を1つの波長 λ_0 にロックさせることで、全レーザーが1つのレーザーとして振る舞い、そして、光学的媒体73に注入する。温度制御部74と熱伝冷却器75、76は、レーザー配列70と光回折クリスタル72を所望温度に保つために使われる。さらに、光回折クリスタル72の温度は、熱伝冷却器76によって変えられ、それによって、その動作波長を変える。

この方法で、光学的アンプと個体レーザーのように、高パワーが必要なアプリケーションで使用する1つのレーザーよりも、より高い出力パワーを得ることが可能

である。この外部空洞レーザ配列の高精度の出力波長によって、全出力パワーをアンプやレーザ利得媒体の吸収線に集中させて、その注入工程の効率を増大させることを可能にする。SELの使用は、それが、従来の半導体レーザ配列よりも広範な領域とレーザ活性領域を有するために、特に、このアプリケーションに適している。

図19は、ホログラフィック外部空洞レーザ配列に関する別のアーキテクチャを示す。ここで、異なる波長を有する個々のホログラム77a、77b、...、77nが、ARコーティングされたレーザ配列78とともに使われ、高精度の波長ソース配列を生み出す。ここで、その高精度の波長ソース配列の各々は、異なる波長を有する。レンズ配列79は、各レーザからの光を平行光に変え、それぞれに対応する格子77a、77b、...、77nに送る。そして、温度制御部80と熱電冷却器81、82は、レーザ配列78と格子77a、77b、...、77nの温度を平滑化する。本実施の形態の外部空洞レーザ配列は、WDM通信システムのためのソースとしてのアプリケーションをもつ。ここで、そのシステムに必要な全ソースレーザは、一枚のウェハに生成される。別のアプリケーションは、各半導体レーザが所定の波長で格納されたデータの具体的“ページ”をアドレスするために使用される波長マルチプレクス光学メモリの読み出しソースとしてのものである。

アプリケーション

図20は、WDM光学ファイバー通信システムでの波長安定化レーザを描いている。波長 λ_1 、...、 λ_n で動作するレーザ83の変調出力はそれぞれ、レンズ84によって平行光にされ、マルチプレクサ85によってカップリングされる。マルチプレクサ85は、従来型のものか、または、カップリング損失を減らすためのホログラフィック格子デバイスでよい。多重波長ビームは、ファイバーカップラーによって、光学ファイバー86の長さにカップリングされる。そのファイバー端には第2レンズ87が使われ、ビームをデマルチプレクサ88に送る。ここで、高スペクトラル分解能ホログラフィック格子が使われ、各波長のチャンネルを分離し、これらのビームを異なる角度で、それらの分離光検出器89に方向

づけする。

本発明で述べられた波長安定化方法を用いた半導体レーザは、現在の技術で可能であるよりもさらにチャネル間隔を非常に狭くするボリュームホログラフィック技術を用いることで、特に、WDM遠隔通信システムにとって有益である。現在のWDMアーキテクチャでは、半導体レーザソースの波長精度は、チャネル間隔を制限する制限要因である。ほとんどのケースで、マルチプレクスされたチャネルは、 $1.3\mu\text{m}$ と $1.5\mu\text{m}$ のような分離したバンドでなければならない。DFBレーザを注意深く選択することによって、不確かさを、約40Åに削減することができる。しかし、このことは、老化と他要因によるドリフトをなくすものではない。本発明で示めされた安定化方法は、レーザがロックされるべき外部波長標準を用いて、任意の近接するチャネル分離を可能にするが、高速変調によるチャープ(chirp)と他の効果を消すものではない。

本発明で述べられたレーザ波長安定化や電氣的フィードバックのスキームや外部空洞(光学的フィードバック)方法への2つの主なアプローチのいずれか一方が、WDMアプリケーションにとって可能なソースである。しかしながら、電氣的フィードバックアプローチは、好適な第1の実施の形態である。それは、開発の単純さと最低の技術リスクによるものである。DFBレーザは、温度制御され、また、ホログラフィックフィルタや交差フィルタペアにカップリングされる。その出力は、それを利用するデバイスにファイバーによって、カップリングされる。その波長は、非常にチャープ(chirp)に設定され、高速変調からの他のFM効果は、隣接チャネルに漏れない。そのチャネルの間隔は、DFBレーザによって占有されるバンド幅によって制限され、これは、レーザ出力波長の精度が悪いせい

ではない。

図21は、Erドープされた光学ファイバーアンプやErドープされたファイバーレーザやダイオードが詰め込まれた個体レーザのような光学的媒体91に注入する、本発明で述べられたフィードバック技術を用いた高精度波長レーザ90のアプリケーションを示す。ここで、動的利得媒体の吸収バンドは、極端に狭い

。ポリウムホログラム外部波長標準ピークと精密なレーザを用いて、全レーザエネルギーはその注入媒体に適用され、それによって、注入効率が上がる。さらに、これらのレーザは、干渉計や、高い波長精度を必要とする分光法のためのソースのようなテスト装置に対する副波長レファレンスとして、非常に適している。

図22は、わずかに異なる波長で動作する2つのポリウムホログラム安定化レーザ92、93を用いた、マイクロ波やミリ波信号生成方法を描いている。本実施の形態では、既知の波長 λ_1 、 λ_2 （周波数 f_1 、 f_2 に対応する）で動作する2つのレーザ92、93は、ビームスプリッタ94を用いて、光学的にヘテロダイン(heterodyned)され、検出器95に方向づけられる。検出器95へのビーム投射は、ビート周波数 $f_1 - f_2$ の発振を起こし、それは、 $\lambda_2 - \lambda_1 = 5 \text{ \AA}$ で、レーザ92、93が $1.3 \mu\text{m}$ バンドで動作するとき、約3mm波長の信号となる。さらに、レーザ92と93の1つか両方の動作波長を調整することによって、この出力信号の周波数を変えることが可能である。

代表的には、混合された出力は、電磁波のスペクトラムの光学的周波数部内にある。しかし、それはまた、マイクロ波スペクトラムのミリ波やセンチメートル波の範囲内にある。そのような結果を、波長安定化精度と調整能力によって、導くことができる。

図23aは、示差吸収分光法のための、精密で、デチューナブル(detunable)なソースとしてのレーザの別のアプリケーションを描く。デチューニング(detuning)可能な単一のホログラフィック格子安定化レーザ96が使われ、わずかに異なる波長(λ_1 、 λ_2)で、わずかに未知の媒体97と集束レンズを通過して、検出器99に進む。そのサンプルの同じ領域を通過するシフトした波長で測定がうまくなされる。レーザ波長制御部100は、その出力を λ_1 、そして、 λ_2 に設定するために使われる。そして、温度制御部101は、そのレーザを一定温度に

保持することによって、安定動作を確実にする。両方の測定のために、ビームが正確に同じスポットに配置されても、このアプローチの不利な点は、測定間のイ

ンターバル時間にある。

図23bは、第2の例を描く。ここでは、既知の波長 λ_1 、 λ_2 の2つの異なるレーザ102と103からのビームがレンズ104、105によって、平行光に変えられる。そして、未知の媒体106を通過し、さらに、レンズ107によって個々の検出器108、109に焦点が合わされ、同時吸収測定ができる。上述の制御機構を用いて、レーザ102、103の1つか両方の波長を調整することによって、波長の差は容易に変更可能である。しかしながら、サンプルの媒体を通過する各ビームに対して、わずかに異なるパスがある。

結論

ここでは、本発明に係る好適な実施の形態の結論を述べる。要約すると、本発明は、レーザ出力波長を所望値にロックするための波長標準として使われるボリュームホログラフィック格子からのフィードバックを利用するレーザを開示する。このフィードバックは、非光学でできる。ここでは、外部制御機構を用いて波長を動的に制御するために、ホログラフィックフィルタ出力が使われる。このフィードバックはまた、光学的であってもよい。ここでは、光学的フィードバックを生成して、レーザの利得を得るために、ボリュームホログラム反射格子が使われる。

上述した本発明に係る好適な実施の形態に関する先行の記述は、図示と記述の目的のために提供されたものである。それは、完全にすることを意図したものではなく、また、本発明が開示された細かい構成に制限されるものでもない。上述の示唆の観点から、多くの修正や変形が可能である。このことは、本発明の範囲が、その詳細な記述によっては制限されず、ここに添付されたクレームによって制限されることを意味する。

【図1】

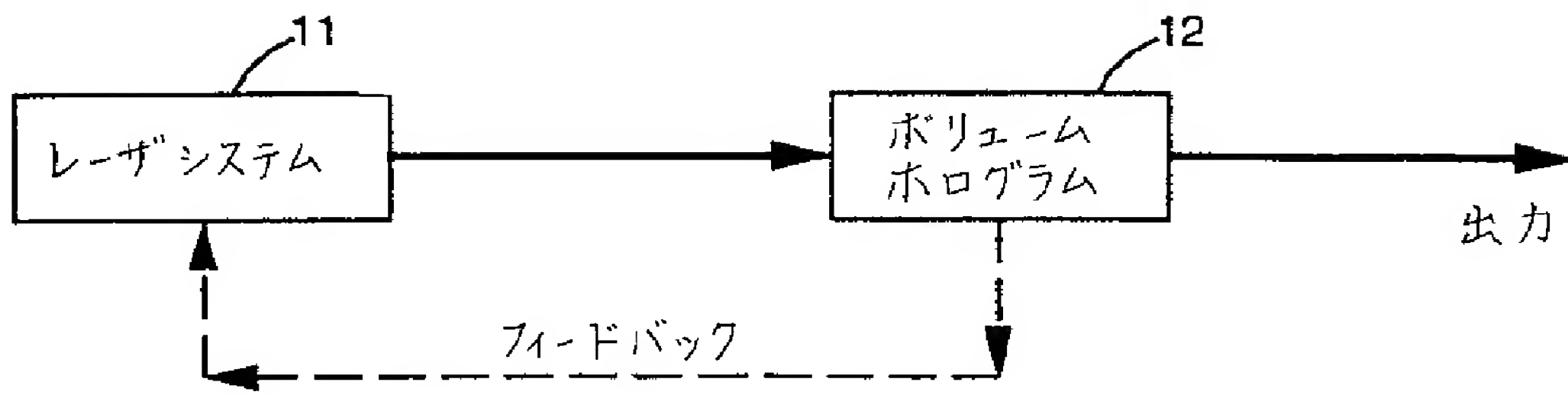


FIG. 1

【図2】

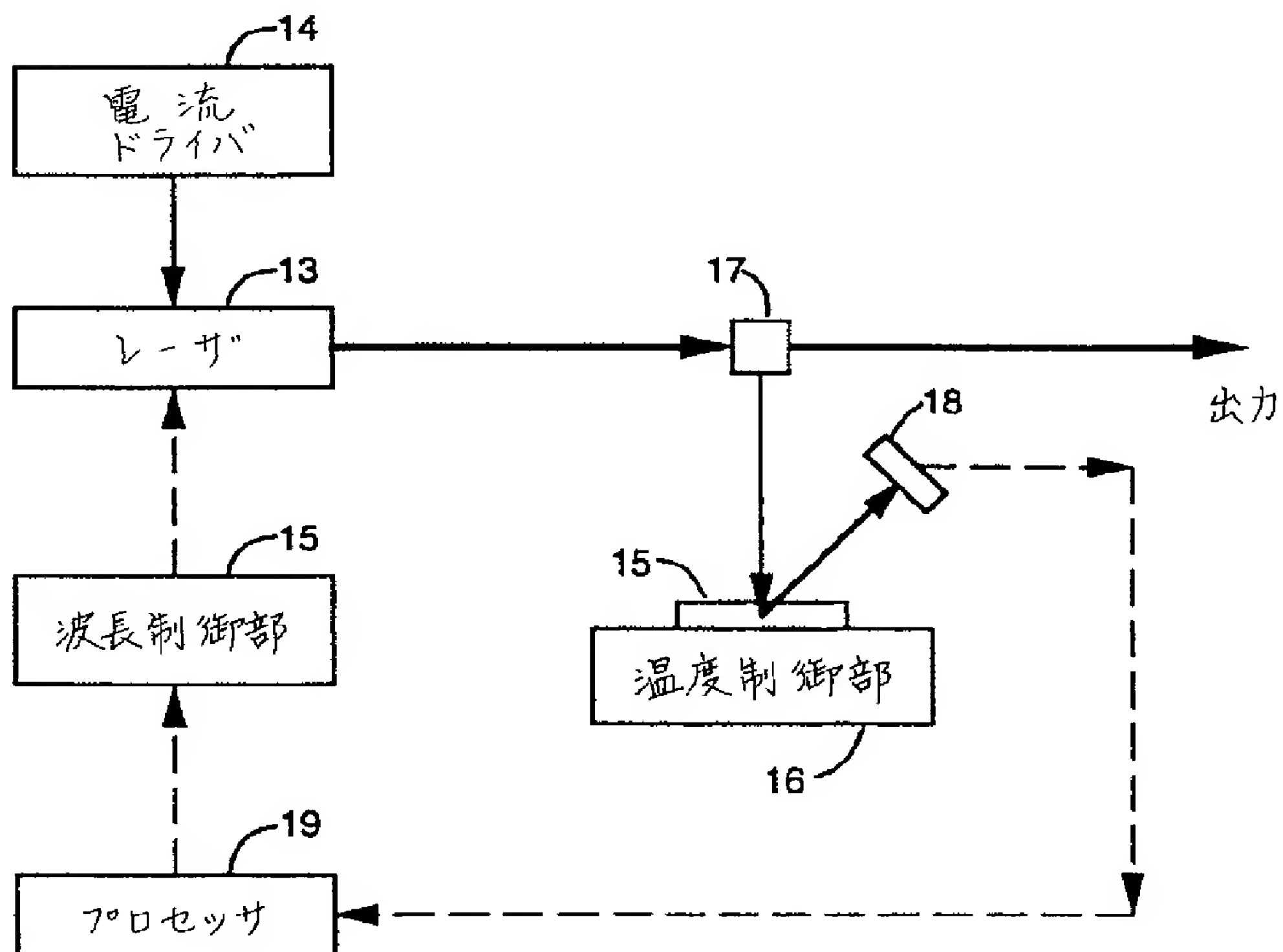


FIG. 2

【図3】

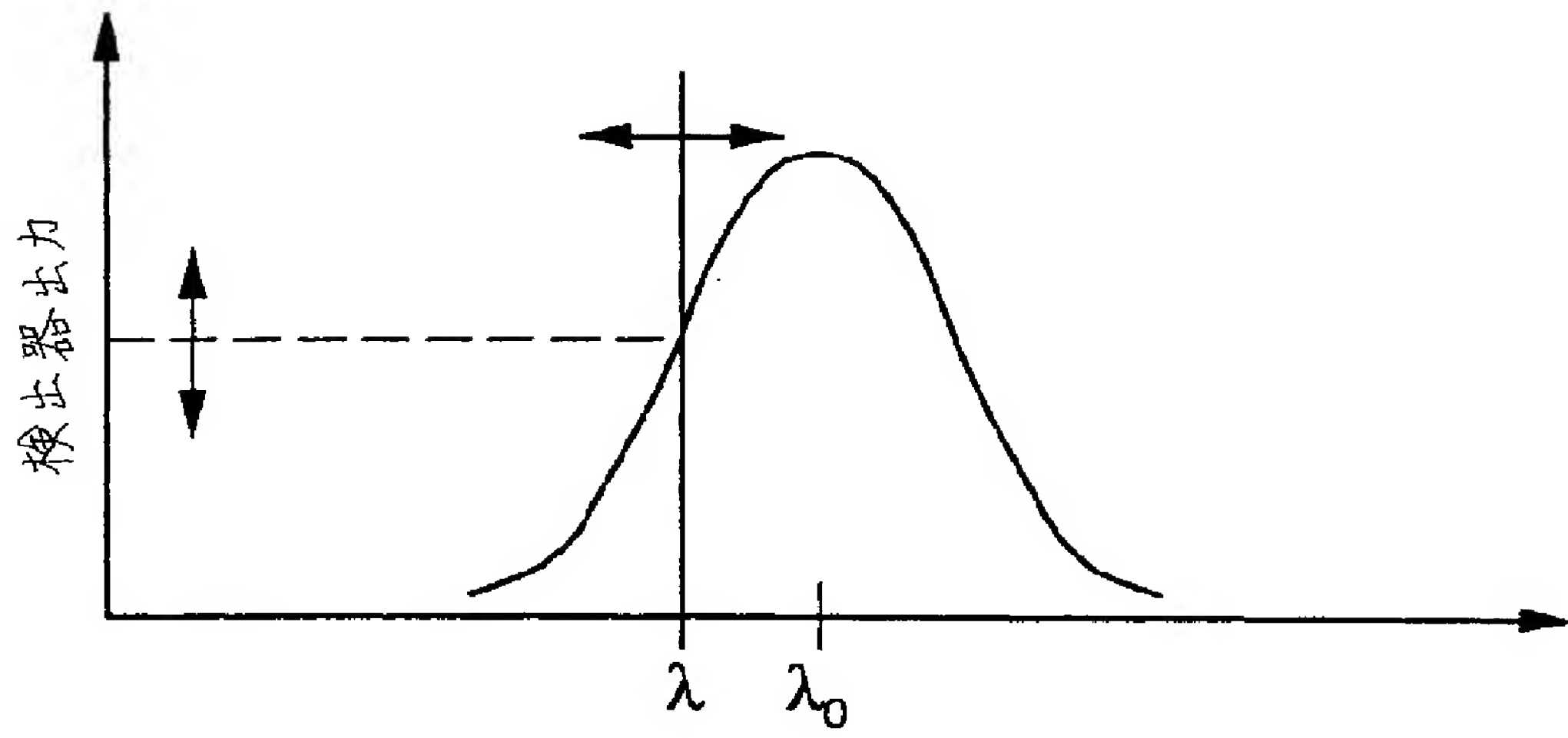


FIG. 3

【図4】

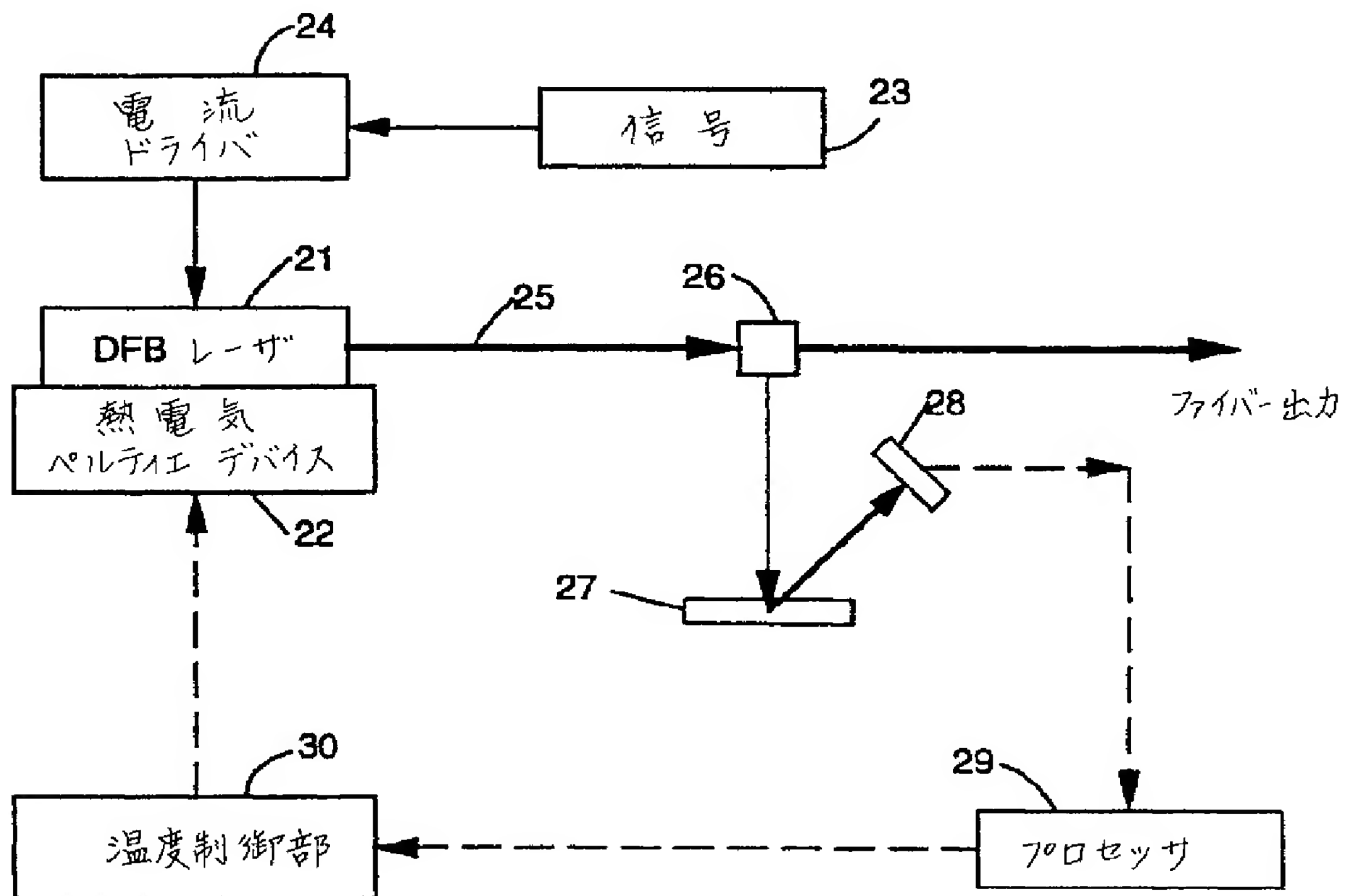


FIG. 4

【図5】

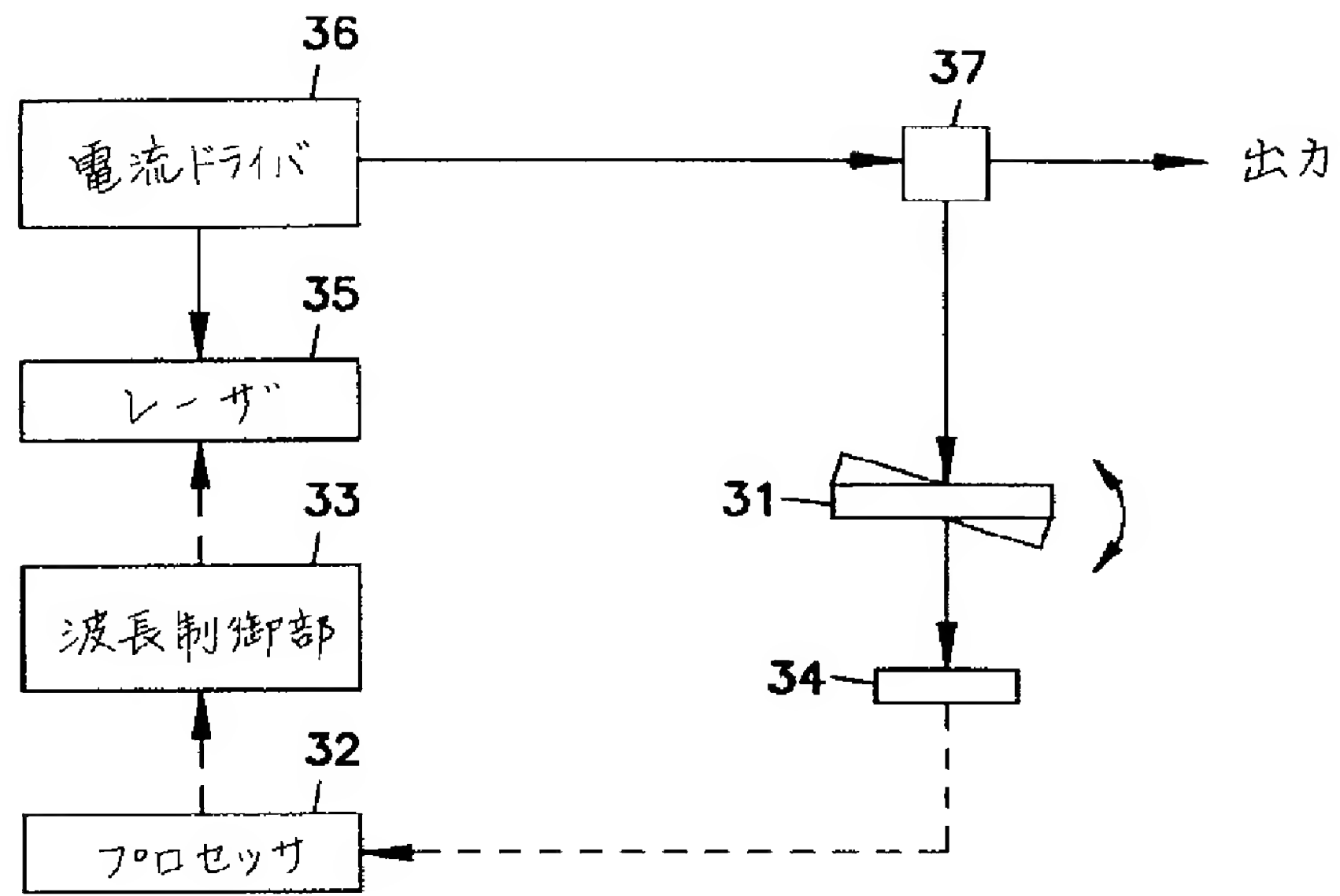


FIG. 5

【図6】

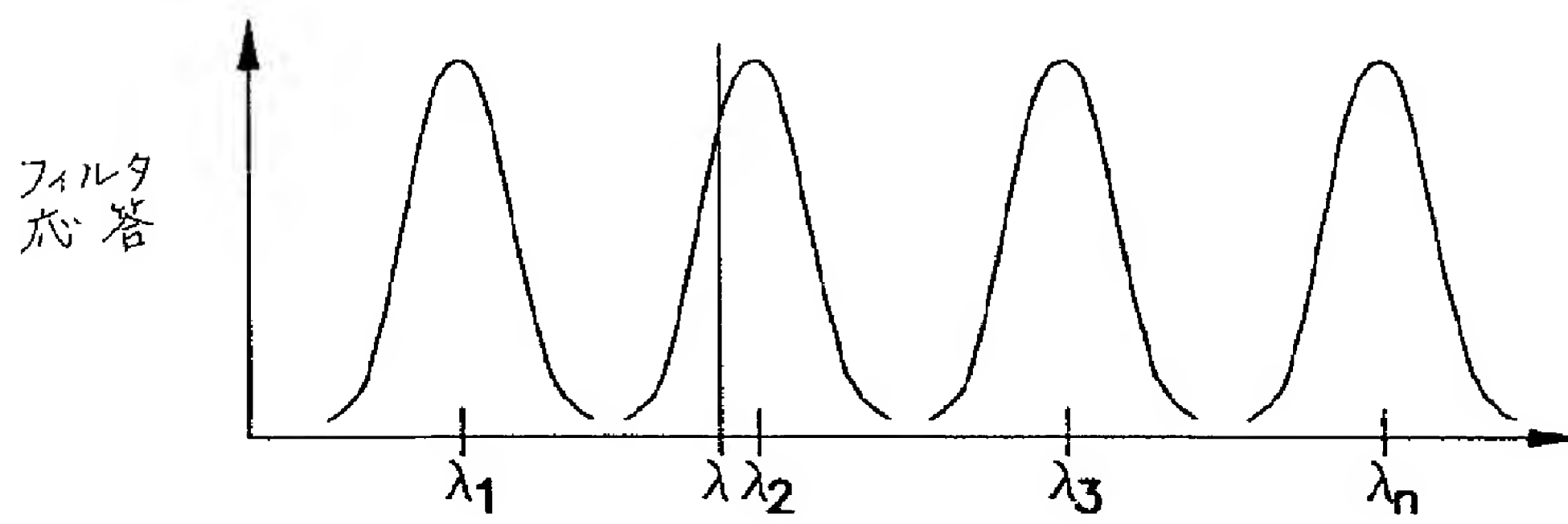


FIG. 6

【 図 7 】

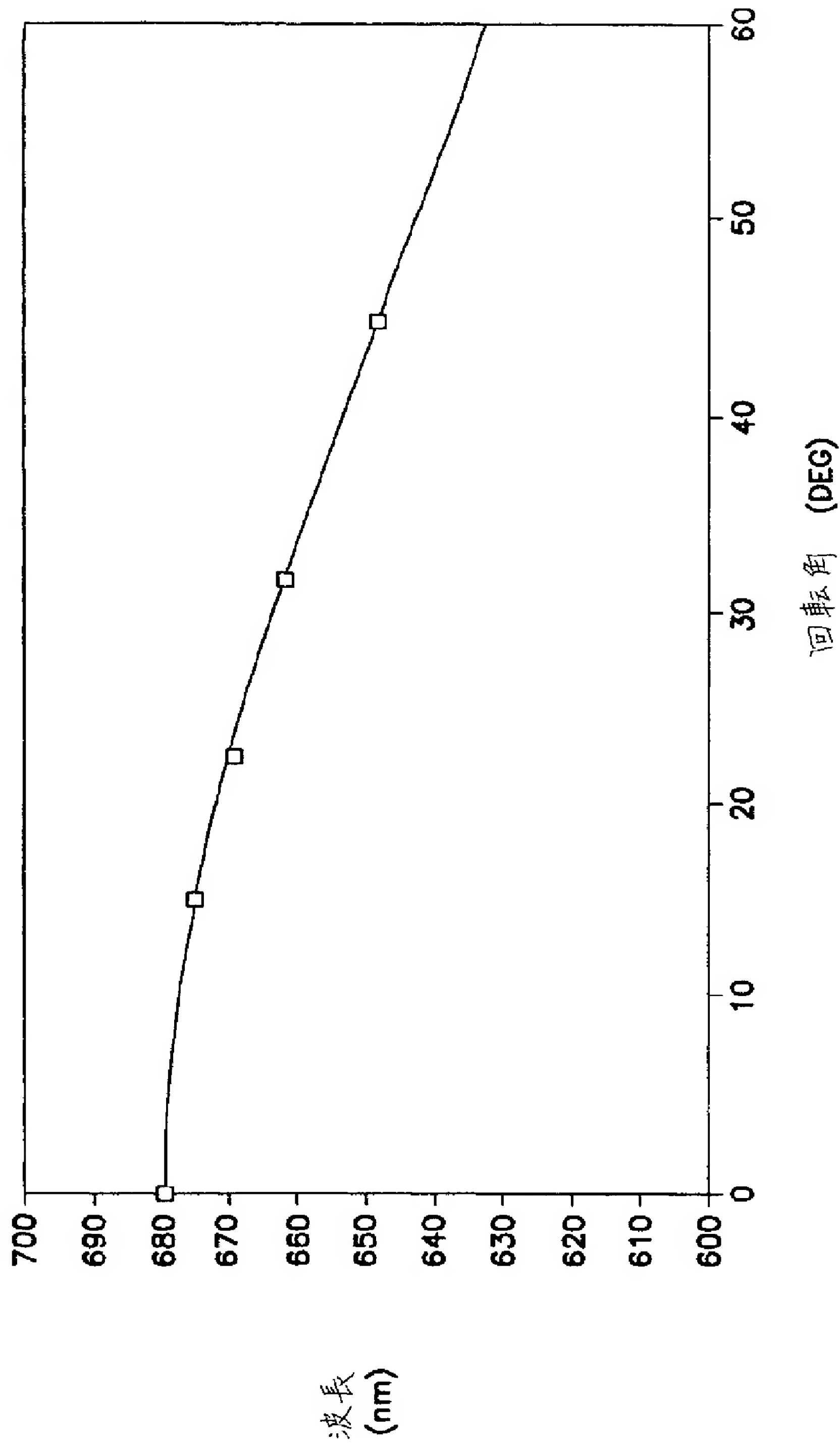


FIG. 7

【図8】

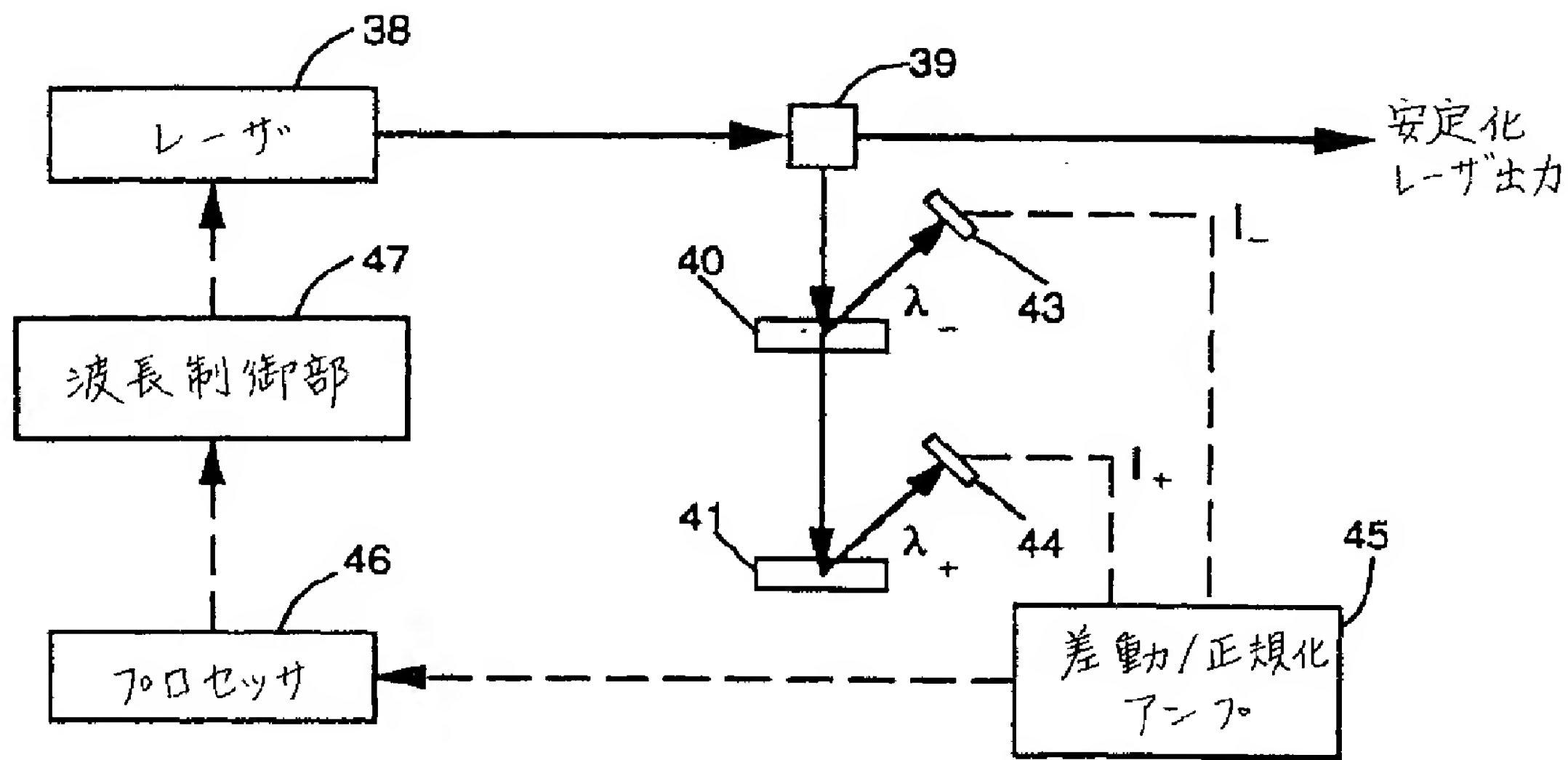


FIG. 8A

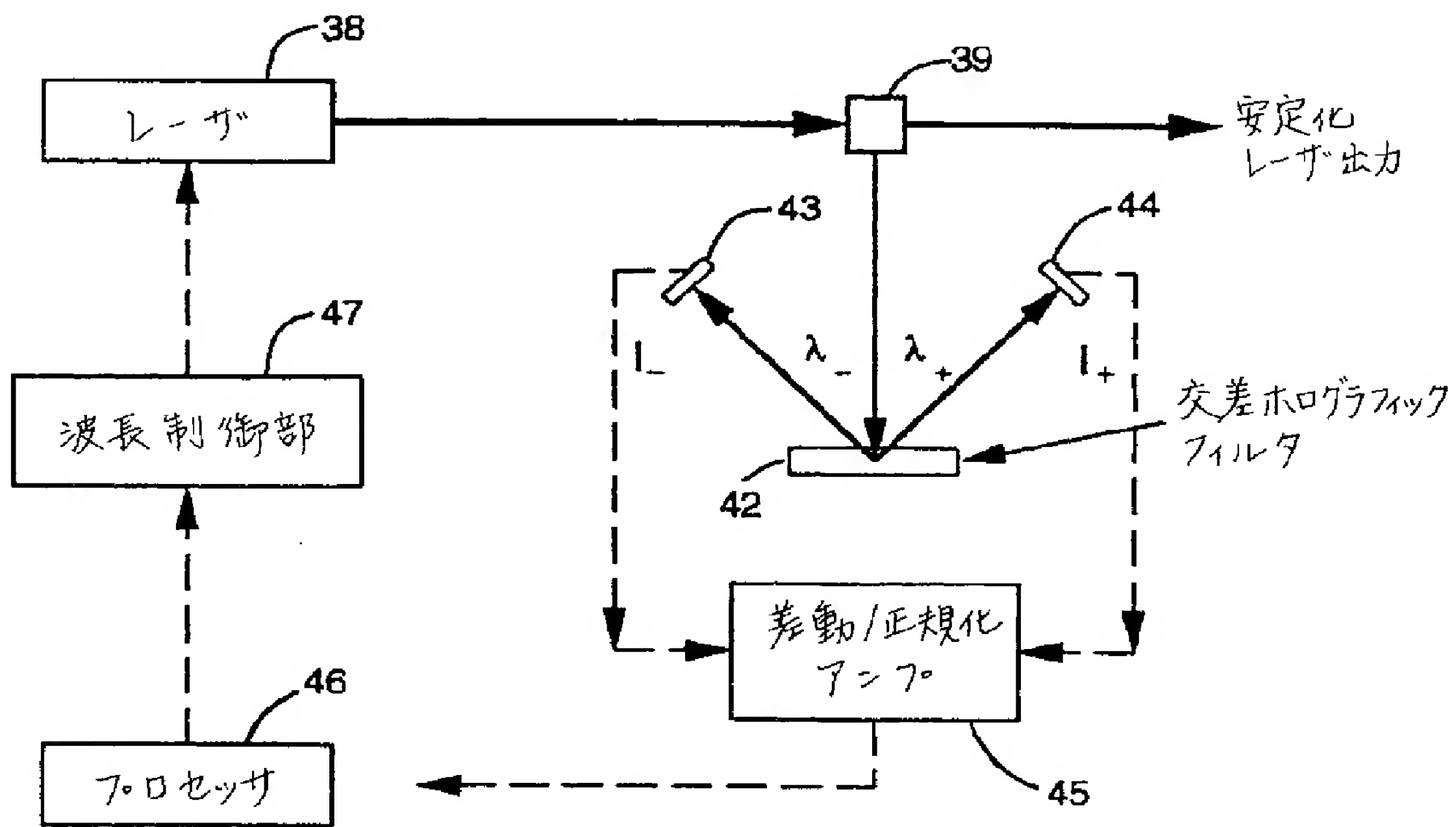


FIG. 8B

【図9】

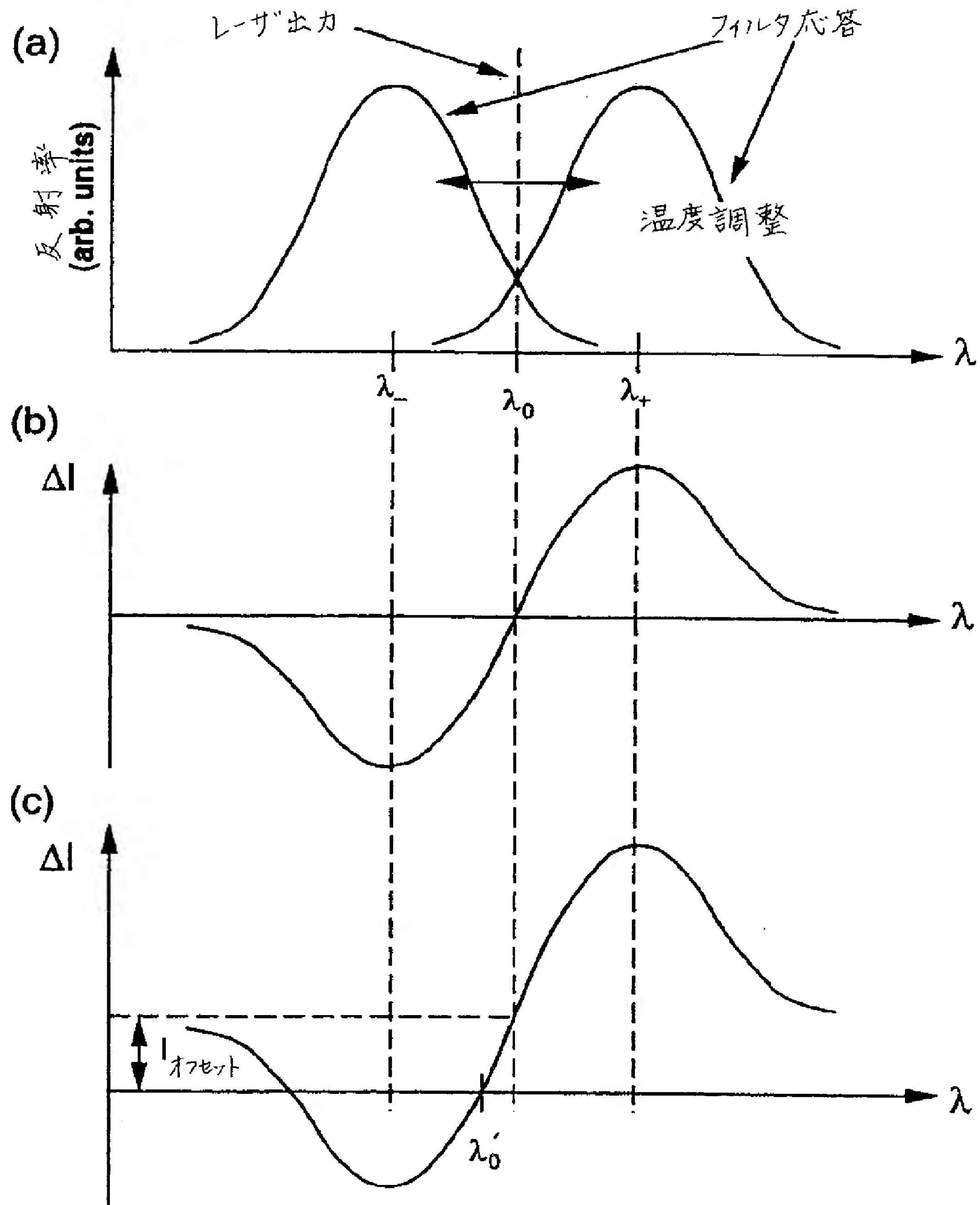


FIG. 9

【 图 1 0 】

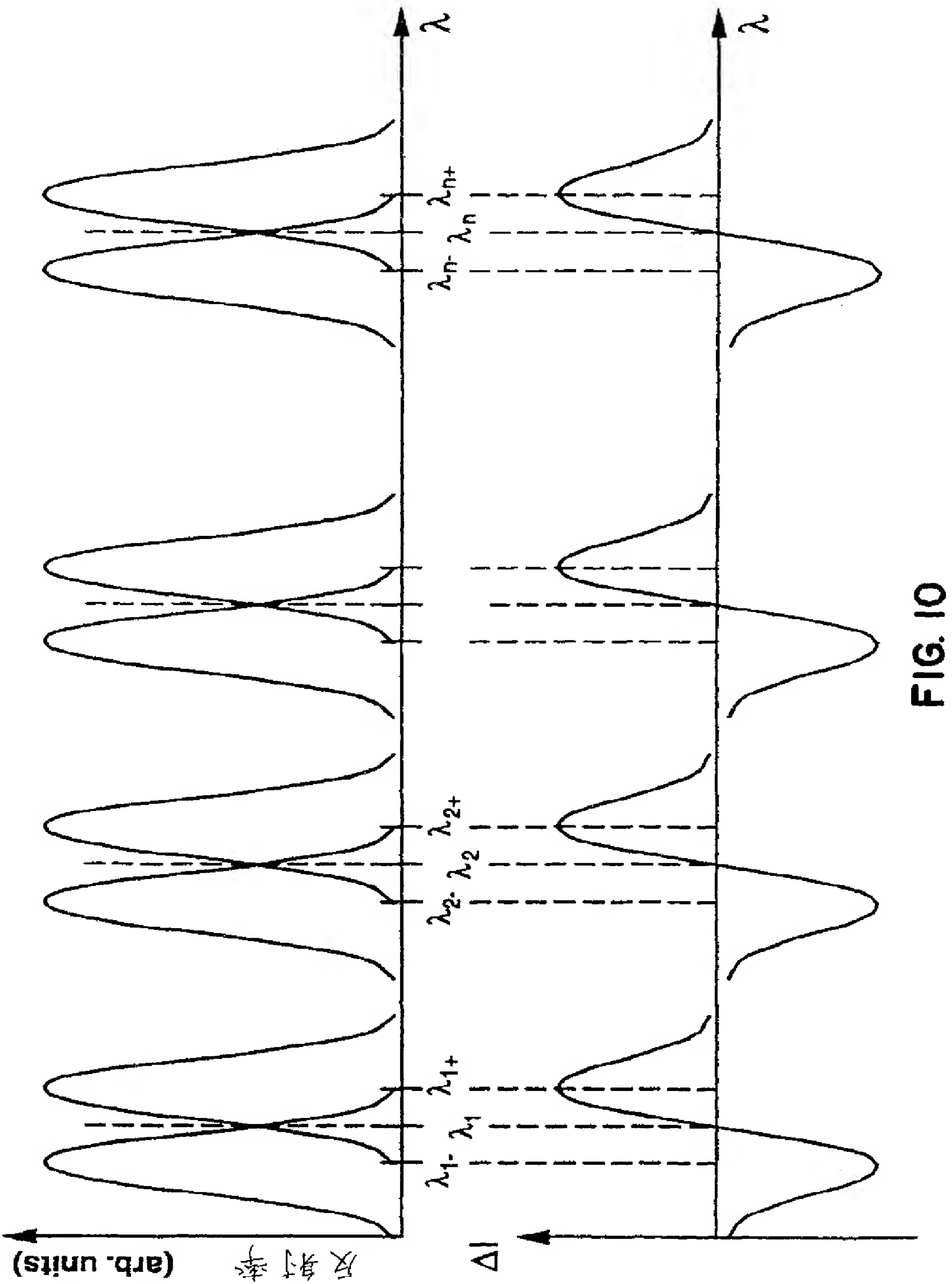


FIG. 10

【図11】

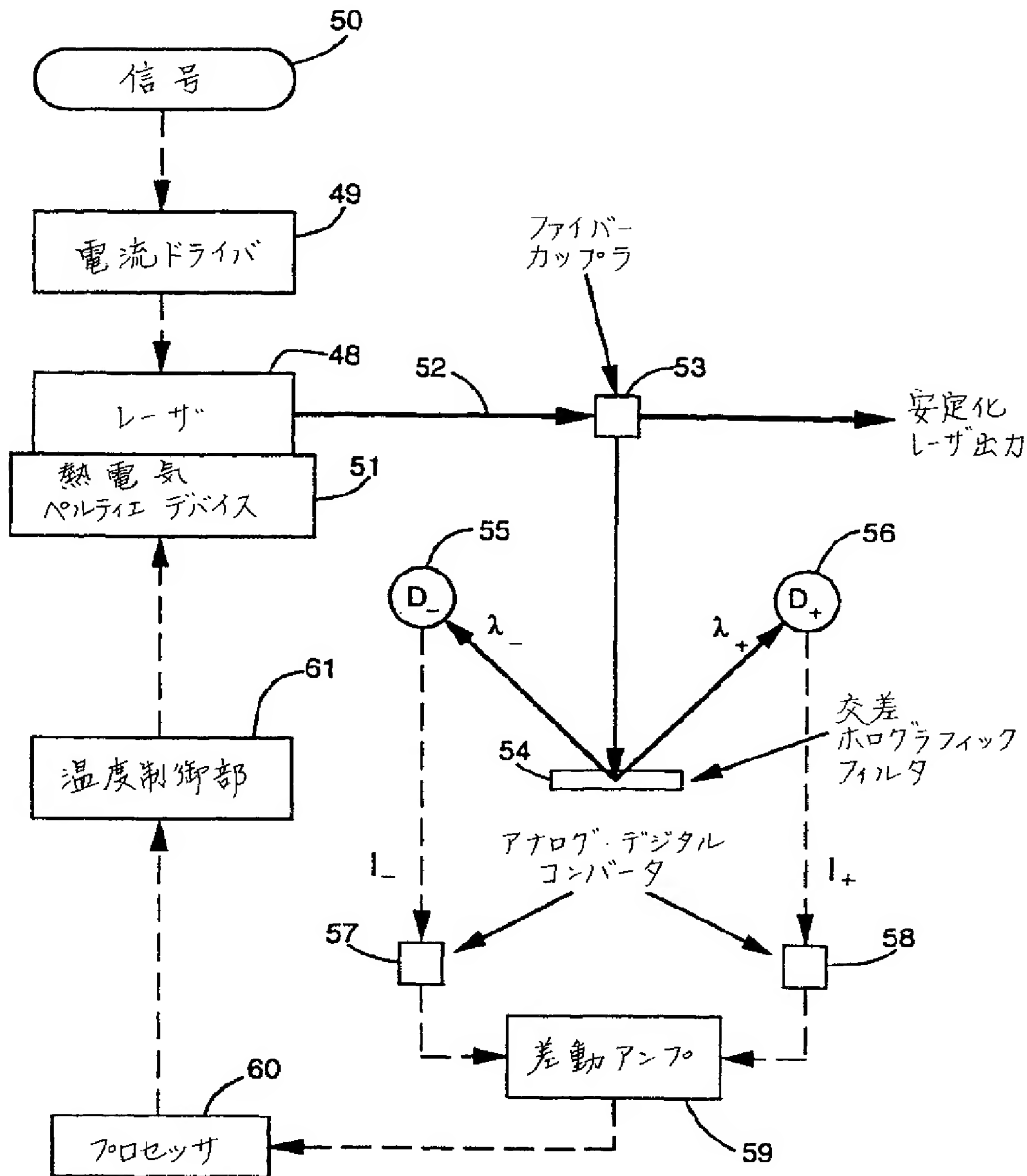


FIG. 11

【図12】

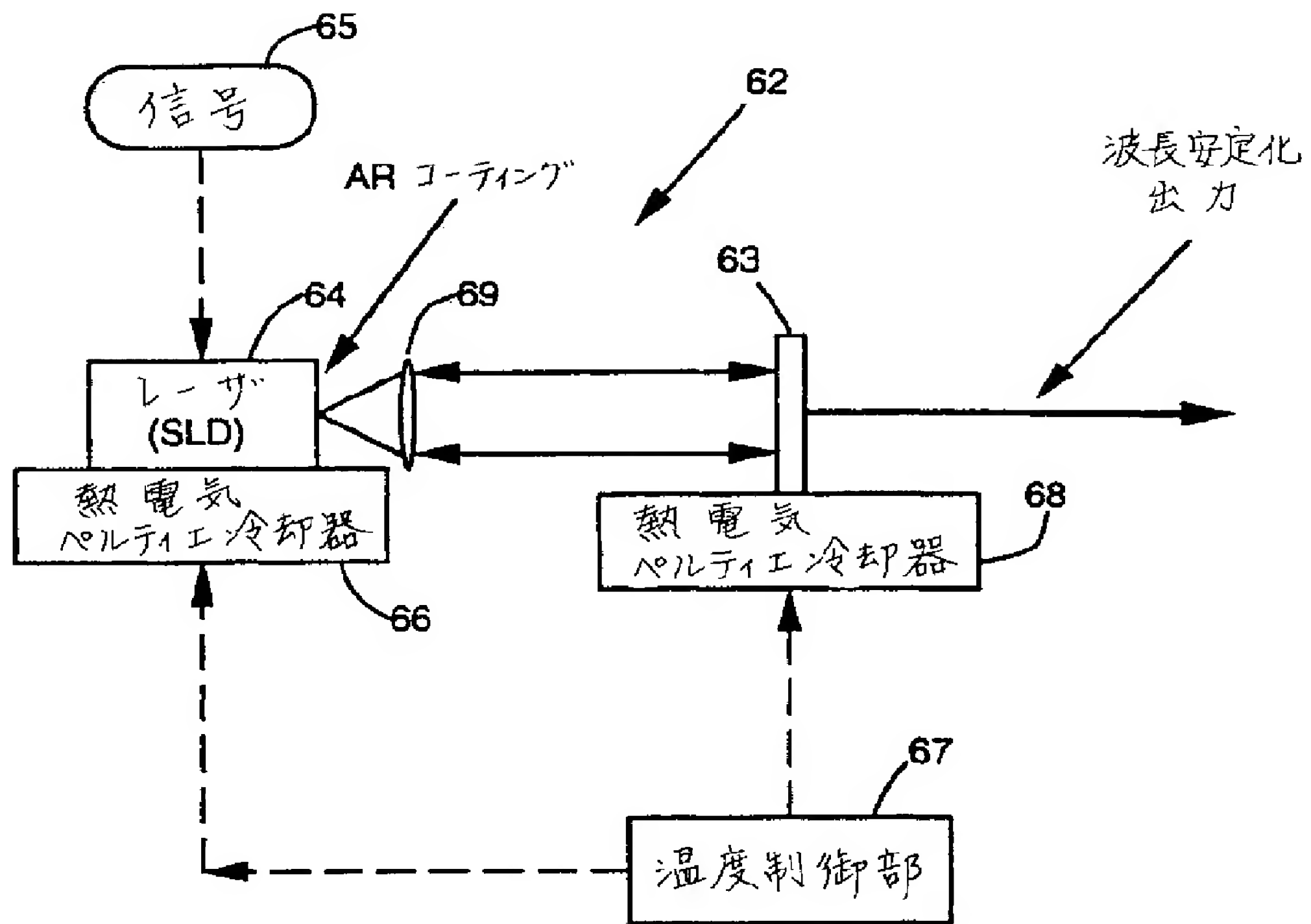


FIG. 12

【 図 1 3 】

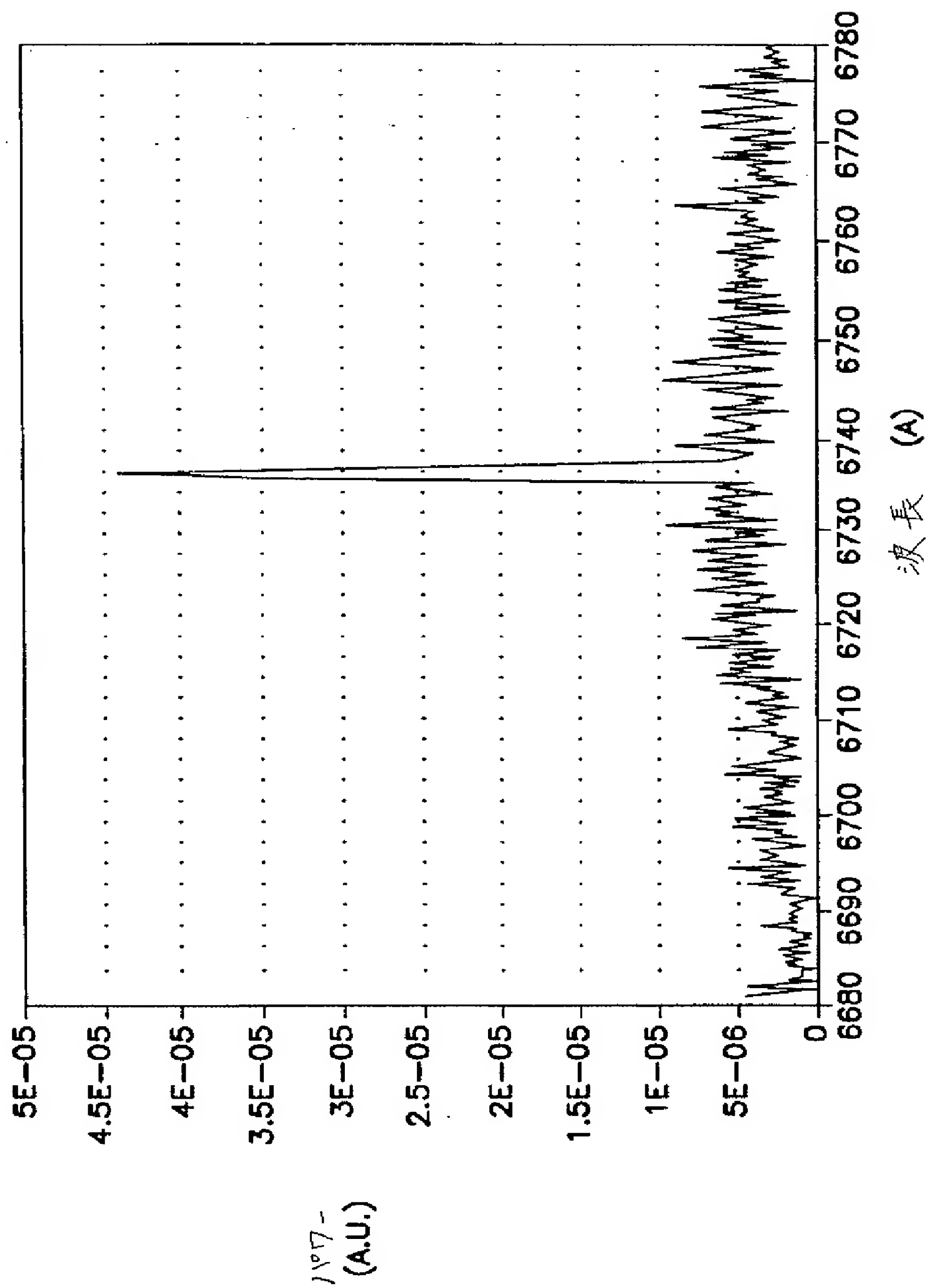


FIG. 13

【 図 1 4 】

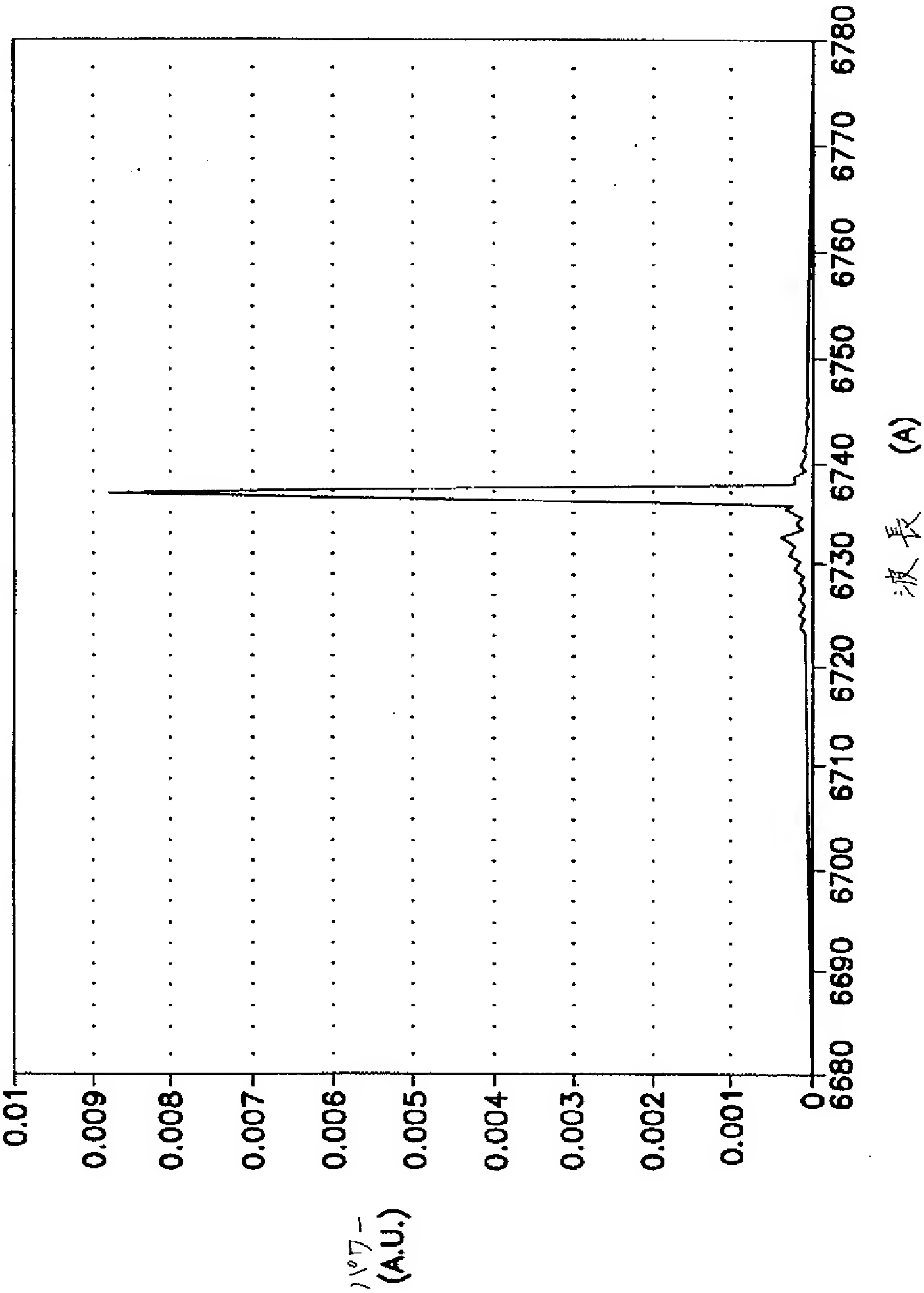
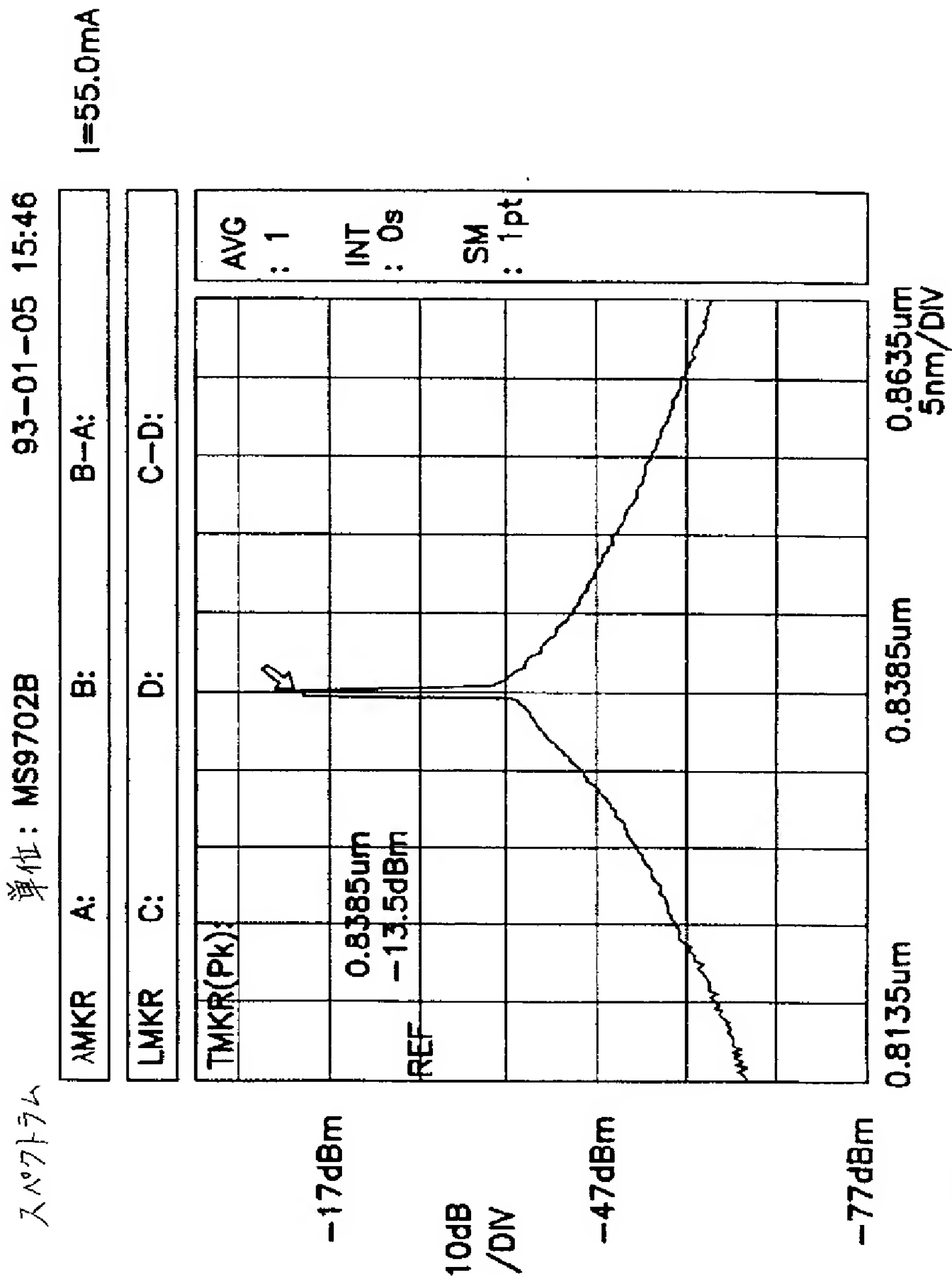


FIG. 14

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

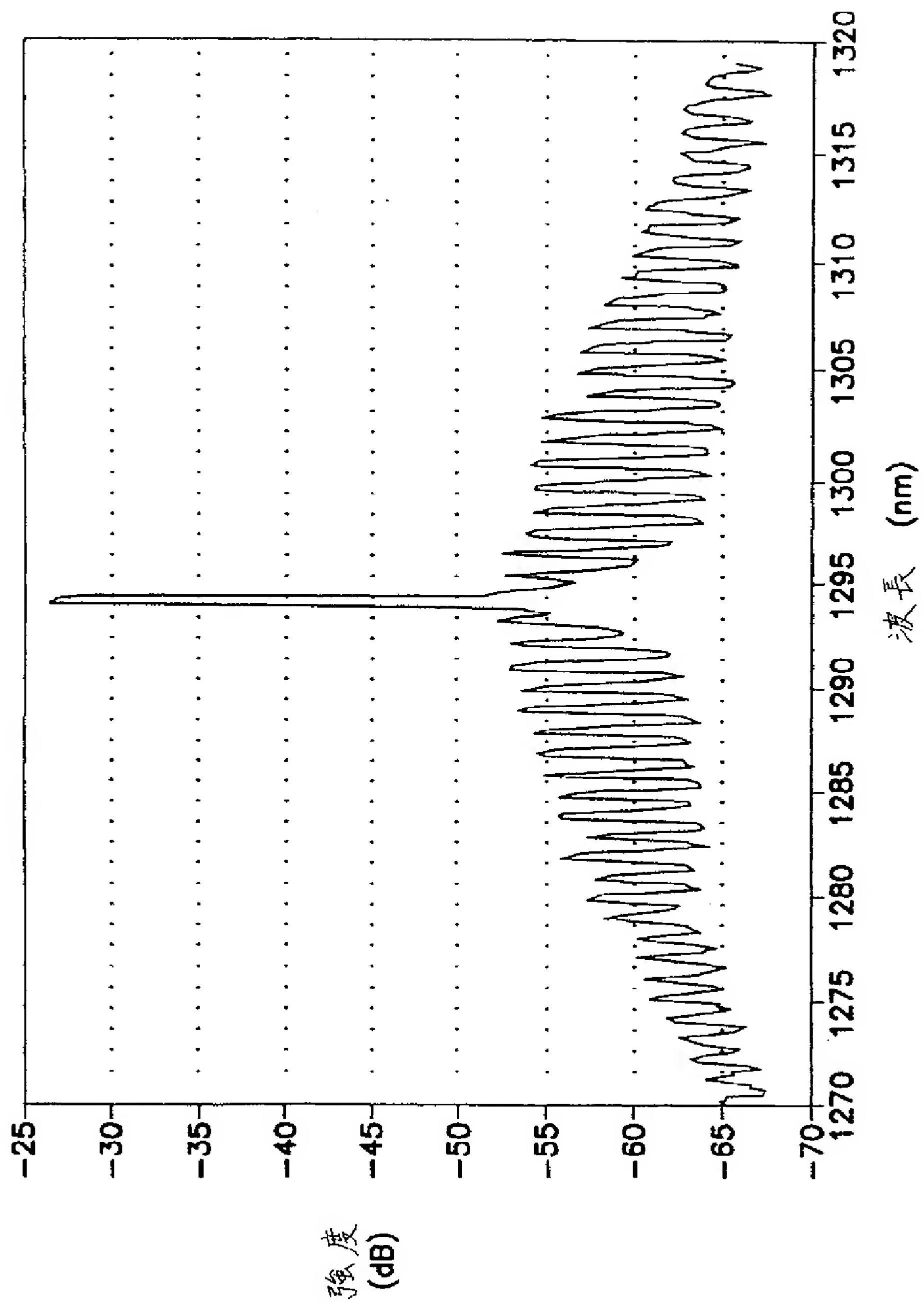


FIG. 16

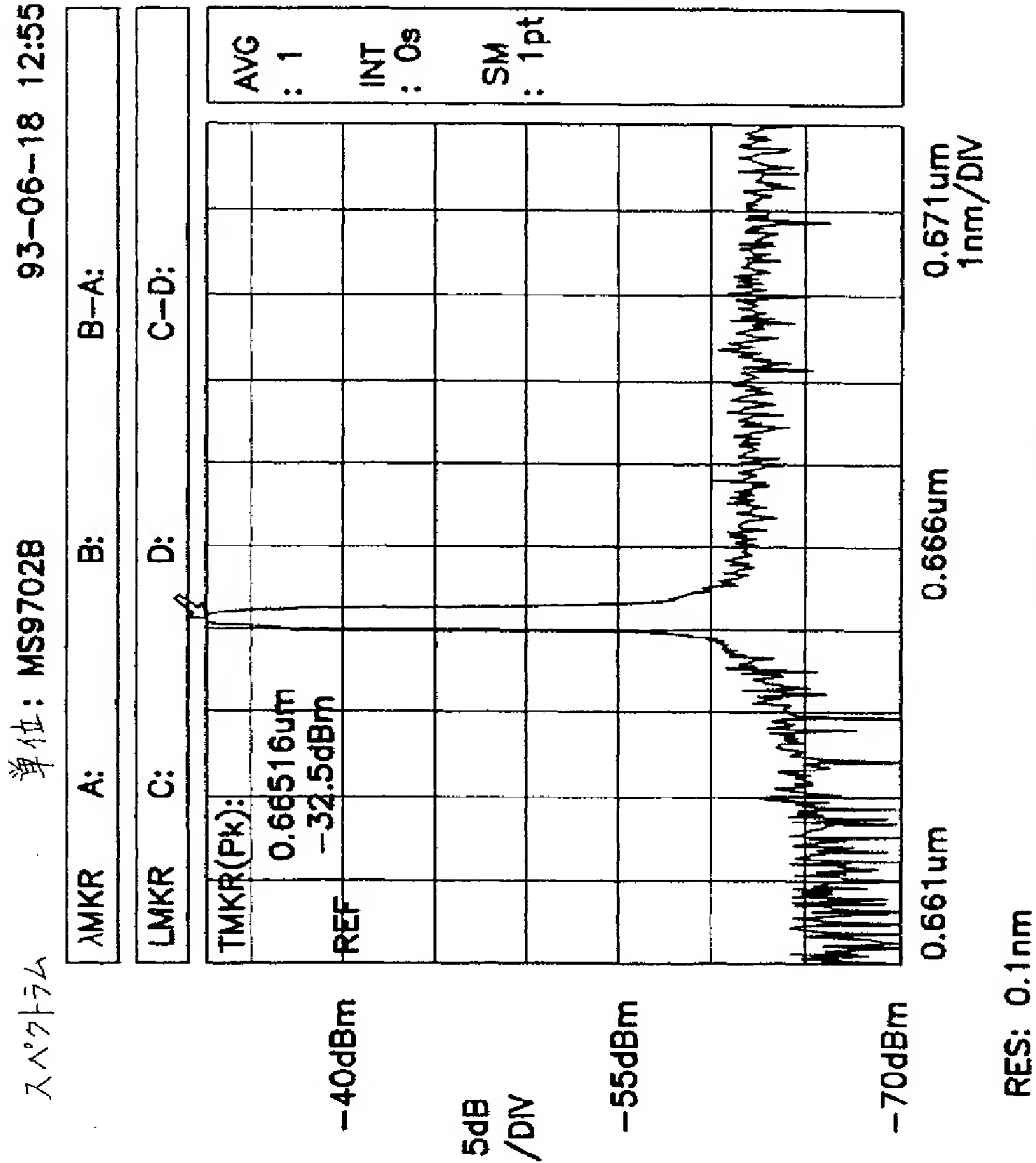


FIG. 17

【図18】

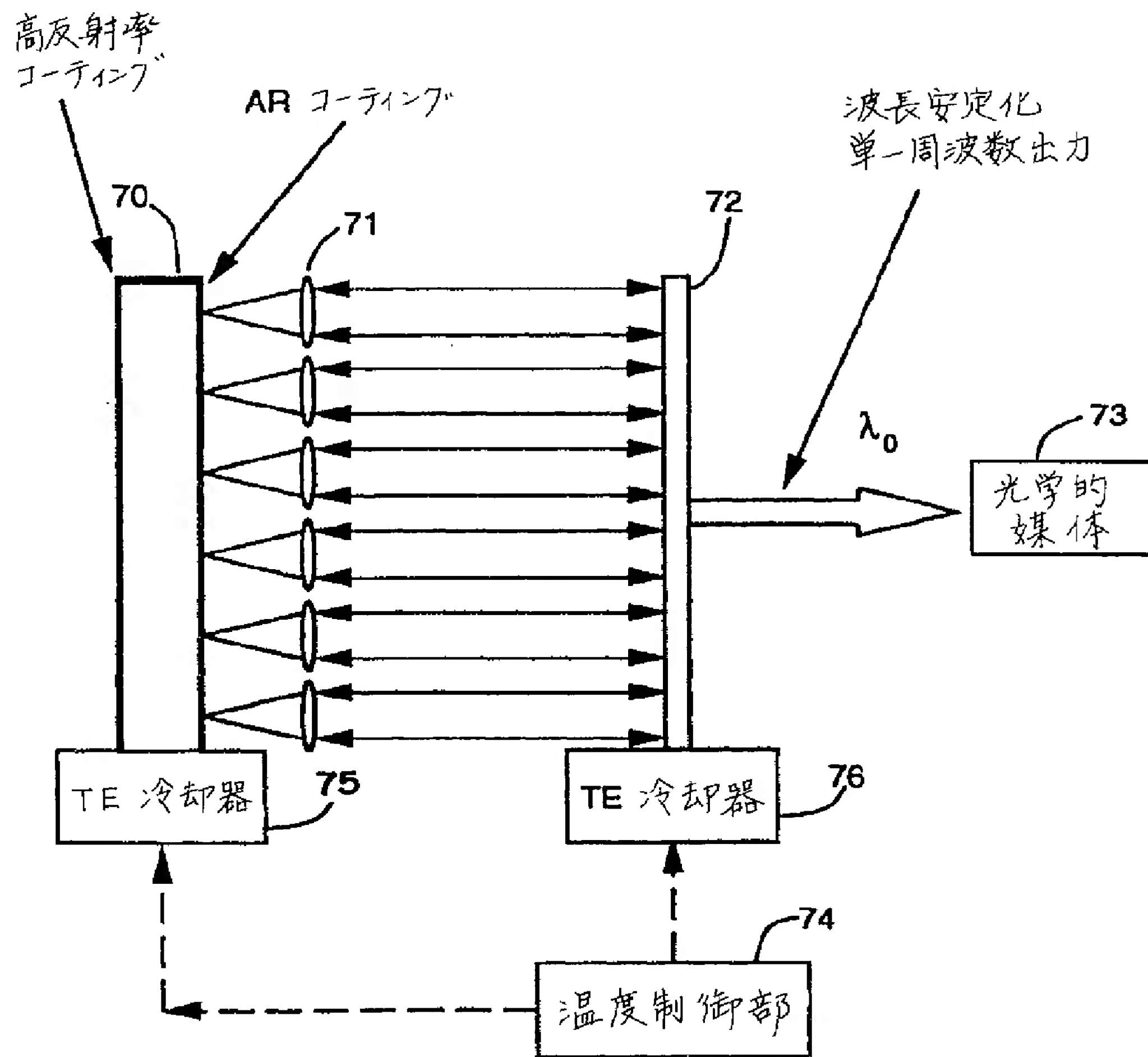


FIG.18

【図19】

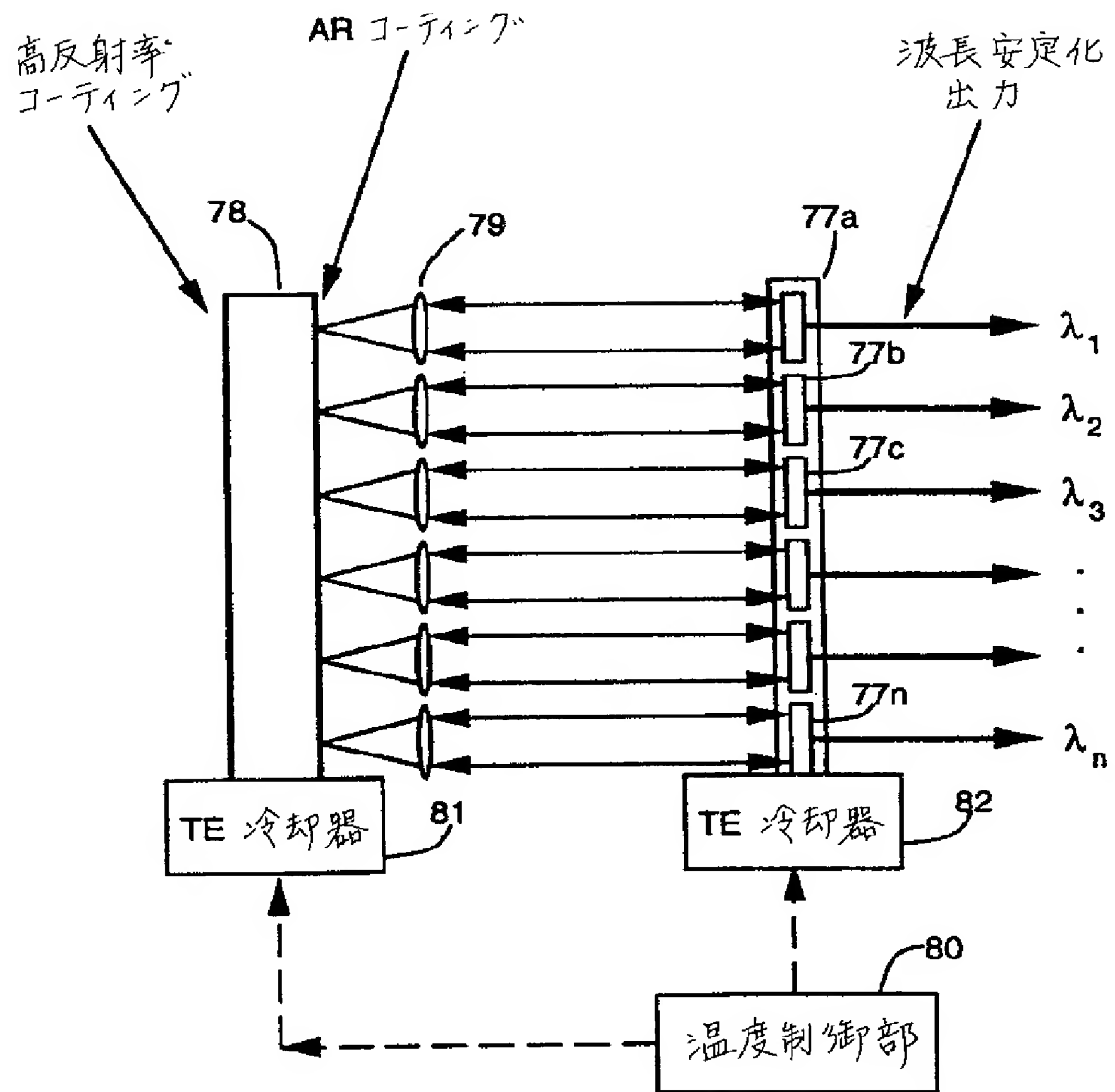


FIG.19

【 図 2 0 】

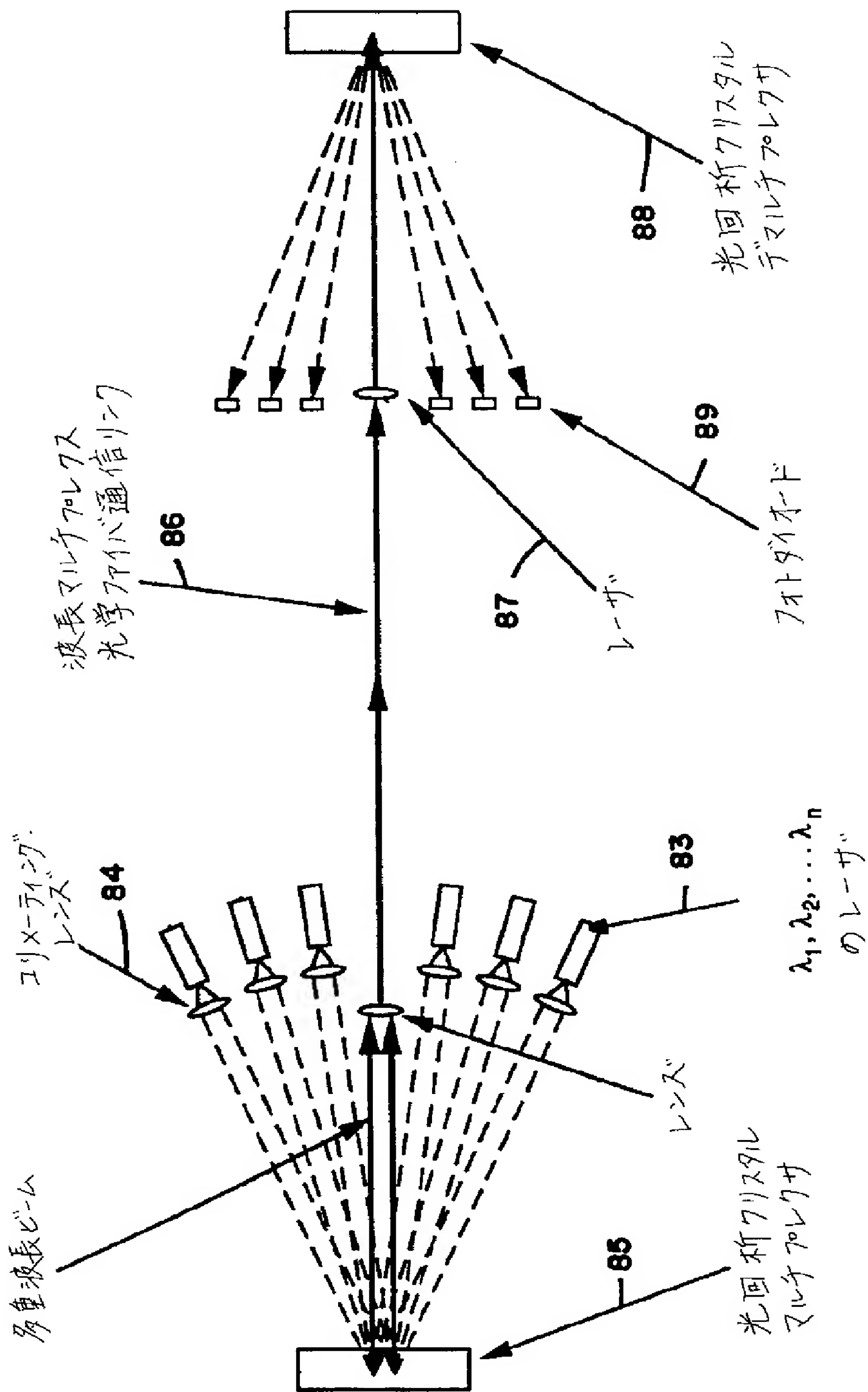


FIG.20

【図21】

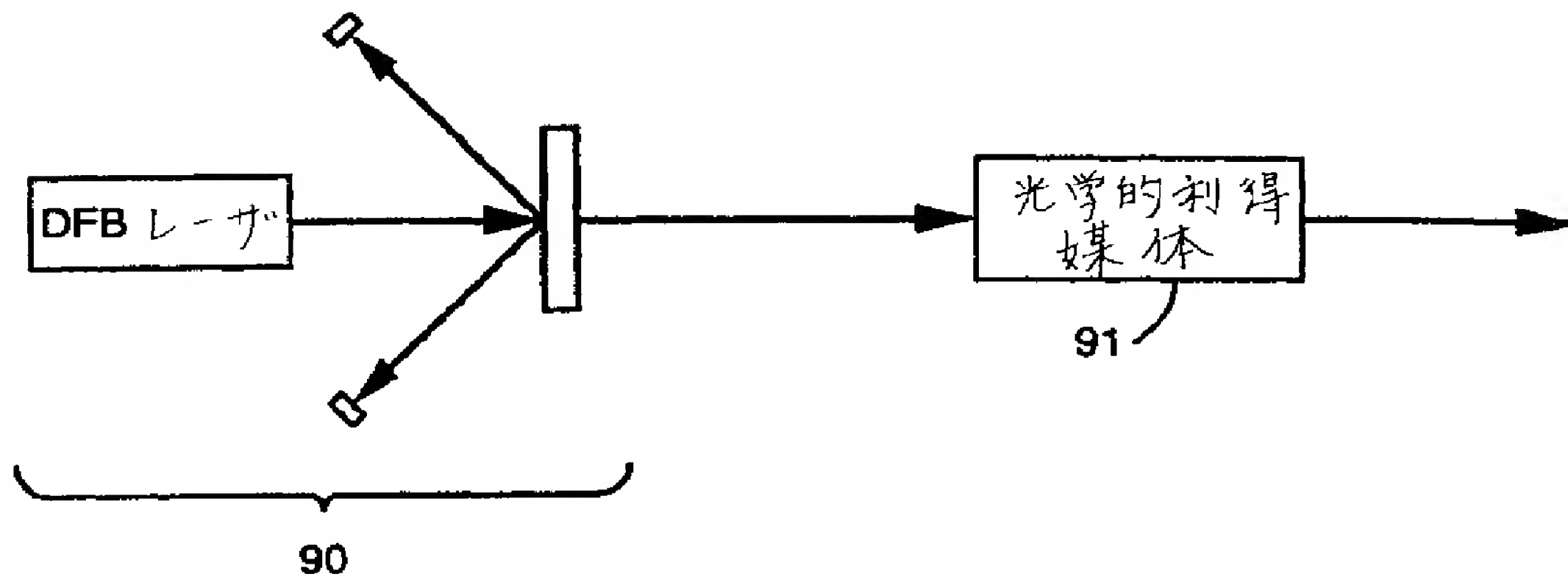


FIG.21

【図22】

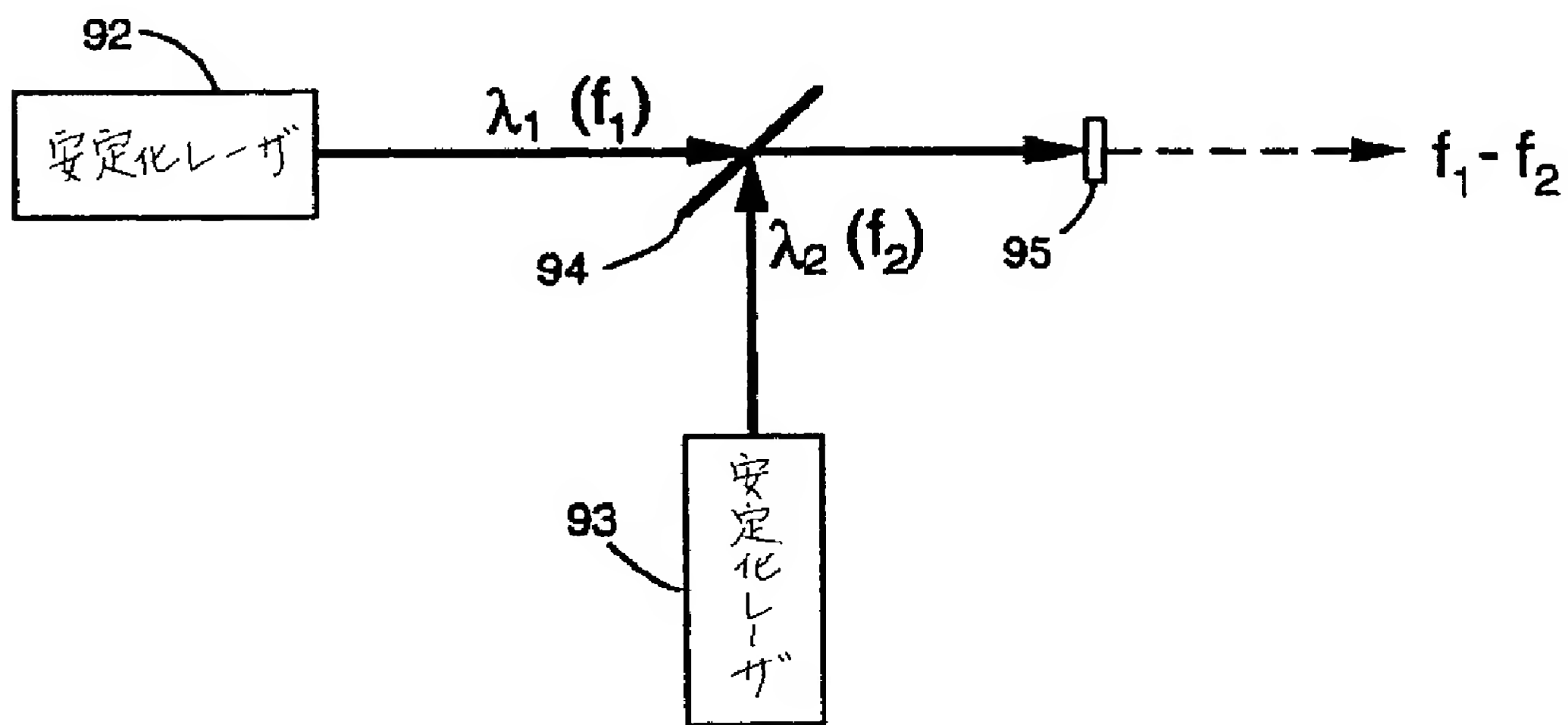


FIG.22

【図23】

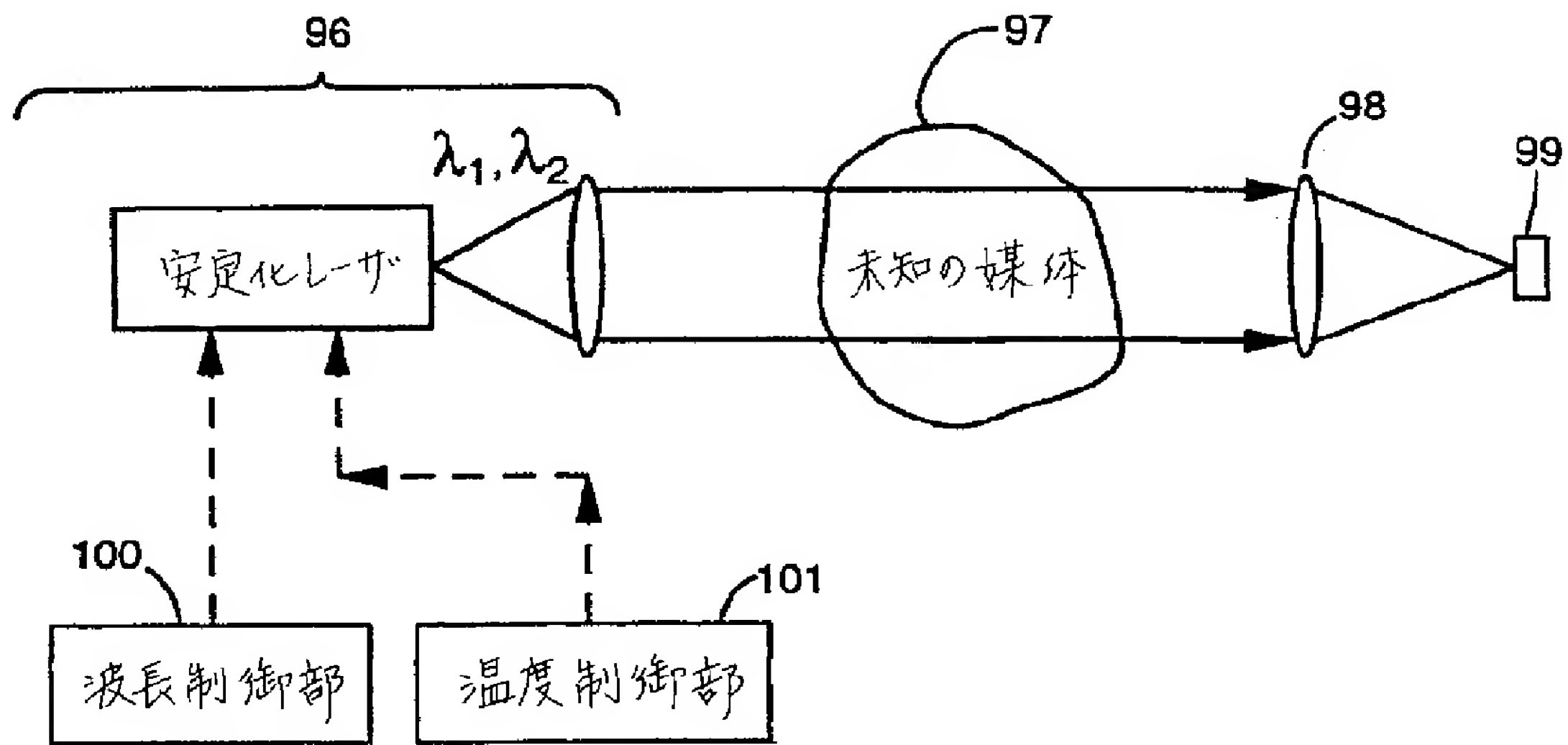


FIG.23A

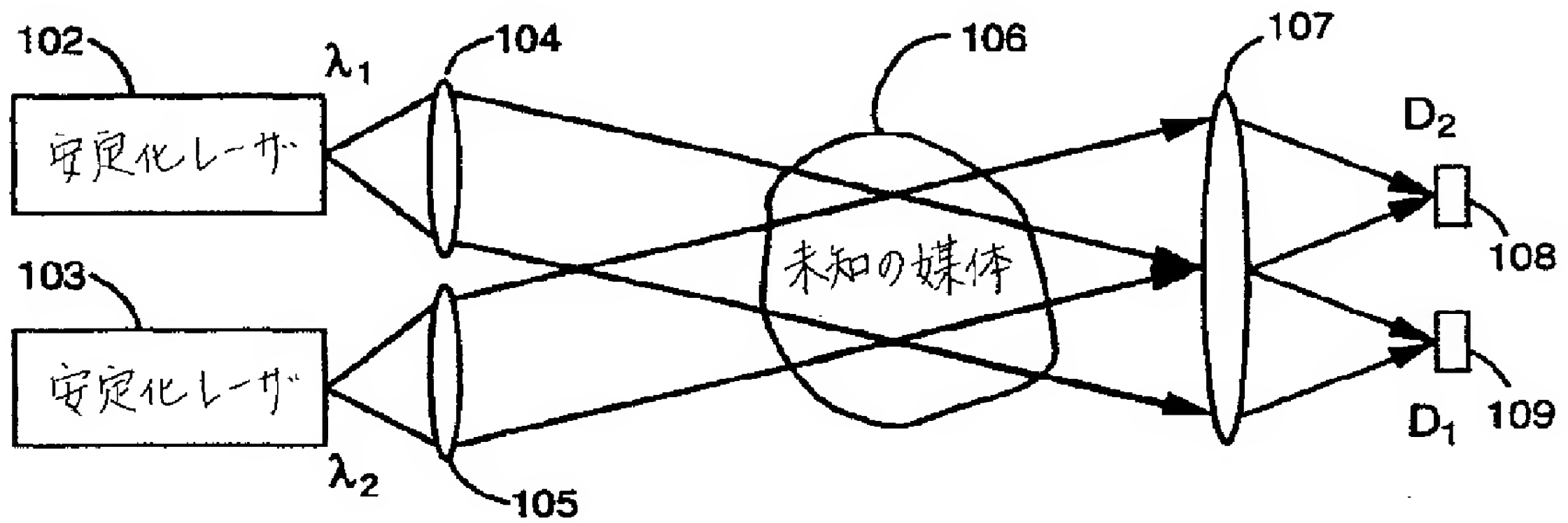


FIG.23B

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

| | | |
|---|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 6 H01S3/085 H01S3/13 | | International Application No. PCT/US 94/10176 |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01S | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 9, no. 113 (P-356) 17 May 1985 & JP,A,60 000 424 (KITAGAWA SHIYUNJI) 5 January 1985 see abstract --- | 1-4 |
| Y | OPTICS LETTERS., vol.18, no.6, 15 March 1993, NEW YORK US pages 459 - 461, XP000346182 G.A.RAKULJIC ET AL. 'Volume holographic narrow-band optical filter' cited in the application see abstract see page 459, column 1, line 18 - line 21 see page 461, column 2, line 8 - line 34 --- -/-- | 1-50, 60-76 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex. | | |
| * Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family | | |
| Date of the actual completion of the international search 13 January 1995 | | Date of mailing of the international search report 25. 01. 95 |
| Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016 | | Authorized officer Galanti, M |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/US 94/10176

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|--|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| Y | EP,A,0 001 714 (THE POST OFFICE) 2 May 1979 see abstract --- | 1-4, 66-76 |
| Y | GB,A,2 226 127 (STC) 20 June 1990 see the whole document --- | 5-50, 60-65 |
| X | ELECTRONICS LETTERS., vol.21, no.15, July 1985, ENAGE GB pages 648 - 649 P.MILLS ET AL. 'Single-mode operation of 1.55 um semiconductor lasers using a volume holographic grating' see the whole document --- | 51-59 |
| X | APPLIED SPECTROSCOPY, vol.39, no.4, 1985, BALTIMORE US pages 582 - 586 W.B.WHITTEN ET AL. 'Molecular spectrometry with a holographically scanned cw dye laser and supersonic cooling' see abstract --- | 51 |
| Y | US,A,4 840 456 (D.M.FYE) 20 June 1989 see abstract --- | 44-49 |
| A | EP,A,0 284 908 (SIEMENS) 5 October 1988 --- | |
| A | WO,A,93 11589 (HONEYWELL INC) 10 June 1993 --- | |
| A | US,A,5 042 042 (N.HORI ET AL.) 20 August 1991 --- | |
| A | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 11, no. 171 (E-512) (2618) 2 June 1987 & JP,A,62 005 677 (MATSUSHITA) 12 January 1987 see abstract ----- | |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 94/10176

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|--|--|
| EP-A-0001714 | 02-05-79 | GB-A, B 2007015 JP-B- 1012113 JP-C- 1554568 JP-A- 54074386 US-A- 4309671 | 10-05-79 28-02-89 23-04-90 14-06-79 05-01-82 |
| GB-A-2226127 | 20-06-90 | NONE | |
| US-A-4840456 | 20-06-89 | NONE | |
| EP-A-0284908 | 05-10-88 | DE-D- 3885134 JP-A- 63257285 US-A- 4815081 | 02-12-93 25-10-88 21-03-89 |
| WO-A-9311589 | 10-06-93 | US-A- 5323409 AU-A- 3413993 CA-A- 2119143 EP-A- 0615665 FI-A- 942613 NO-A- 941626 | 21-06-94 28-06-93 10-06-93 21-09-94 03-06-94 03-05-94 |
| US-A-5042042 | 20-08-91 | JP-A- 1251681 | 06-10-89 |

フロントページの続き

| | | | |
|--------------------------|------|---------|--------------|
| (51)Int.Cl. ⁶ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I |
| H 0 1 S 3/18 | | 7630-2K | H 0 1 S 3/18 |

(72)発明者 レイバ, ビクター
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
90066 ロス アンジェルス, #105 ソー
テル ブールバード 3525

(72)発明者 サヤノ, コウイチ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
90640 モンテベロ, サン アントニオ
ドライブ 2004

(72)発明者 タイラー, チャールズ, イー.
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
94087 サニーベール, カテドラル ドラ
イブ 831